

全国高等职业教育工业生产自动化技术系列规划教材

可编程控制器原理及应用 (三菱机型)(第2版)

高 勤 主 编

田培成 副主编

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

本书以三菱公司的 FX_{2N} 系列可编程控制器为蓝本,介绍了小型可编程控制器的基本工作原理、编程元件、指令系统、程序设计方法以及应用实例,系统介绍了一些典型模拟量的控制。为了便于实践教学,本书以实际应用为主题,设置了实验和实训内容。

本书力求由浅入深,通俗易懂,并注重实用性,它可作为高等职业技术教育生产过程自动化、电气自动化及机电技术应用等电类专业的教材,也可供电气技术人员参考使用。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

可编程控制器原理及应用:三菱机型/高勤主编. —2版. —北京:电子工业出版社,2009.8

(全国高等职业教育工业生产自动化技术系列规划教材)

ISBN 978-7-121-08753-0

I. 可… II. 高… III. 可编程序控制器—高等学校:技术学校—教材 IV. TM571.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 065945 号

策划编辑:王昭松

责任编辑:王昭松 特约编辑:王 芳

印 刷:北京市顺义兴华印刷厂

装 订:三河市双峰印刷装订有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本:787×1 092 1/16 印张:14.5 字数:371.2 千字

印 次:2009 年 8 月第 1 次印刷

印 数:4 000 册 定价:23.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zltts@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010) 88258888。

出版说明

党的十六大提出,走我国新型工业化发展的道路,必须坚持“以信息化带动工业化、以工业化促进信息化”,而且要达到“科技含量高、经济效益好、资源消耗低、环境污染少、人力资源优势”等五个具体目标,这表明我国要基本实现工业化,不仅要采用机械化和电气化,而且要充分利用自动化和信息化。因此,以自动化技术为代表的先进生产技术,将在我国产业结构调整、推动传统产业现代化、实现经济及社会持续协调发展,发挥极其重要的作用。

目前,作为我国高等教育一翼的高等职业教育,已经在招生规模方面取得了巨大的突破,但在教学改革方面与西方发达的职业教育相比,还相对落后。高职教育的培养目标是培养企业真正需要的具有实践动手能力的技术工人,这是当前高职教育改革的重点,也是一线教师所真正关心的话题。而工业生产自动化技术是高职教育中的一个重要领域,承担着为工业生产培养一线技术工人的重要作用,而且,无论是社会用人需求还是就业前景,这一领域目前都被广泛看好。

与此相适应,电子工业出版社在广泛调查研究的基础上,于2006年3月组织全国数十所高等职业院校的一线教师和企业技术专家,在上海召开了“全国高等职业教育工业生产自动化技术规划教材研讨会”,就相关的课程教学和高职培养目标进行了深入的探讨,确定了相关的主干教材10余种。与会代表多是所在学校的领导和业务骨干,具有丰富的教学经验、实践经验和编写教材的经验。

本套教材体现了高等职业教育改革的方向,以培养岗位技术人员的综合能力为中心,淡化理论、强化应用,突出职业教育的教育特色,并且根据教育部制定的“高职高专教育课程教学基本要求”,将传统课程重新组合,缩短教学课时,力求突出应用性、针对性、岗位性和专业性等特点。

本套教材在内容编排上以能力为单位模块,强调实用原则;书中实例完整,注重原理和方法的应用,以提高对高职学生技能的培养。本套教材将学历课程与资格应试结合,满足目前大多数高等职业院校学生毕业时对毕业证与资格证或上岗证的要求。本套教材力求内容新颖性,紧跟国内外工业生产自动化技术的最新进展,同时兼顾国内高职院校相关专业的最新教学内容。本套教材均配套教学参考资料,为高职师生的教与学提供方便和帮助。

本套教材的出版对于高等职业教育的改革和高等职业专门人才的培养将起到积极的推动作用。对于教材中所存在的一些不尽如人意之处,将通过今后的教学实践不断修订、完善和充实,以便我们更好地服务于高等职业教育。

本套教材适用于生产过程自动化技术、计算机控制技术、工业网络技术、液压与气动技术、检测技术及应用等专业,也适用于机电类专业。

电子工业出版社
高职高专教育教材事业部
2006年7月

前 言

可编程序控制器是以微处理器为核心的工业自动化控制装置。可编程序控制器自问世以来,经过了 40 多年的发展,广泛应用于交通、冶金、机械制造业及工业自动化控制等方面,已成为当代工业自动化控制的重要设备。可编程控制技术是工业自动化控制的核心技术之一,是工业生产自动化技术、电气自动化及机电技术应用等专业的重要课程,为满足高职、高专的教育需求,特在本书第 1 版的基础上进行了修订。

本书自 2006 年出版以来,受到了广大读者的欢迎,被一些高职院校作为教材使用。本次修订出版,仍以三菱的 FX_{2N} 型 PLC 为蓝本进行编写,继续保持从实际应用出发,遵循高等职业教育的特点,按照由浅入深、通俗易懂并注重实用性及工程应用的原则进行编写。

为便于教学,第 2 版教材对基本逻辑指令的应用,增补了经验设计程序的示例;对功能指令进行选择讲解,并增补了应用示例;对特殊功能模块的使用,增补了应用示例。同时对每章的课后思考题及习题,以及实验和实训等内容进行了修改和充实。

在 PLC 实验及实训项目的内容中,专门设置了难易程度不同的内容和选做内容,为满足不同类型的教学要求、为教师做好各项实践教学提供了方便。

本书在教学使用过程中,可根据各专业的需要适当地进行内容删减,有些内容也可放在课程设计和毕业实践中进行。

本书的理论教学以安排 55~65 课时为宜,实验教学建议为 16~20 课时;PLC 实训(课程设计)建议为 1~2 周。

本书由高勤担任主编,田培成担任副主编。全书分为 10 章,第 3 章由武付香编写,第 4 章由田培成编写,第 6、8 章由宁红英编写,第 1、2 章和第 5、7、9、10 章由高勤编写。在本书的编写过程中,编者查阅和参考了一些文献、教材和相关厂家技术资料,在此一并表示感谢!

限于编者的水平和经验,书中难免存在错误和不妥之处,恳请广大读者批评指正。对本教材的意见和建议请发电子邮件至 gaogaoqin@163.com。

编 者
2009 年 3 月

目 录

第 1 章 可编程控制器的基本概况	1
1.1 可编程控制器简介	1
1.1.1 可编程控制器的产生和定义	1
1.1.2 可编程控制器的功能及特点	2
1.1.3 可编程控制器的应用及发展	3
1.1.4 可编程控制器的分类及性能指标	5
1.2 可编程控制器的构成及工作原理	7
1.2.1 可编程控制器的基本组成	7
1.2.2 可编程控制器的编程语言	8
1.2.3 可编程控制器的工作原理	10
1.3 可编程控制器的开关量 I/O 单元	12
1.3.1 开关量的输入/输出单元	12
1.3.2 开关量输入/输出单元的接线方式	14
习题 1	17
第 2 章 FX 系列 PLC 的基本指令及编程方法	18
2.1 FX 系列 PLC 的内部系统配置	18
2.1.1 FX _{2N} 系列 PLC 的命名方式	18
2.1.2 编程元件及使用说明	21
2.2 FX 系列 PLC 的基本指令及编程方法	26
2.2.1 逻辑取指令和线圈驱动指令 LD、LDI、OUT	26
2.2.2 触点串联指令 AND、ANI	26
2.2.3 触点并联指令 OR、ORI	27
2.2.4 上升沿和下降沿的取指令 LDP、LDF	27
2.2.5 上升沿和下降沿的与指令 ANDP、ANDF	28
2.2.6 上升沿和下降沿的或指令 ORP、ORF	28
2.2.7 电路块并联连接指令 ORB	28
2.2.8 电路块串联连接指令 ANB	29
2.2.9 栈指令 MPS、MRD、MPP	29
2.2.10 主控指令 MC、MCR	30
2.2.11 逻辑取反指令 INV	33
2.2.12 置位和复位指令 SET、RST	34
2.2.13 定时器和计数器指令	34
2.2.14 脉冲指令 PLS、PLF	36
2.2.15 空操作指令 NOP	36

2.2.16 程序结束指令 END	37
2.3 FX 系列 PLC 的编程基本原则	37
2.3.1 梯形图的规则	37
2.3.2 PLC 执行用户程序的过程分析	38
习题 2	39
第 3 章 可编程控制器的程序设计	41
3.1 梯形图的经验设计方法	41
3.2 常用基本单元电路的编程举例	42
3.2.1 定时器和计数器的编程方法	42
3.2.2 起动、自保、停止控制作用的编程方法	43
3.2.3 互锁及顺序控制的编程方法	44
3.2.4 手动及自动控制的编程方法	45
3.2.5 顺序步进控制的编程方法	45
3.2.6 逻辑指令编程举例	46
3.3 步进指令及编程方法	49
3.3.1 功能图的绘制	49
3.3.2 步进指令的应用	52
3.4 控制程序的设计举例	56
3.4.1 顺序运动的控制程序设计	56
3.4.2 化工生产的液体混合控制	60
习题 3	66
第 4 章 FX 系列可编程控制器的功能指令	68
4.1 功能指令概述	68
4.1.1 功能指令的基本格式及执行方式	68
4.1.2 功能指令的操作数及变址操作	70
4.2 程序流程控制指令	72
4.2.1 条件跳转指令	72
4.2.2 调用子程序指令	73
4.2.3 中断指令	73
4.2.4 主程序结束指令	74
4.2.5 监视定时器指令	75
4.2.6 循环指令	75
4.3 传送和比较指令	76
4.3.1 比较指令和区间比较指令	76
4.3.2 传送指令	78
4.3.3 BCD 和 BIN 变换指令	81
4.4 算术运算和逻辑运算指令	81

4.4.1	算术运算指令	82
4.4.2	加 1、减 1 指令	83
4.4.3	字逻辑运算指令	84
4.5	位元件移位指令	84
4.5.1	位元件右移位指令 SFTR	84
4.5.2	位元件左移位指令 SFTL	85
4.6	数据处理指令	86
4.6.1	区间复位指令 ZRST	86
4.6.2	解码和编码指令	86
4.6.3	平均值指令 MEAN	87
4.7	脉冲输出指令	88
4.7.1	脉冲输出指令 PLSY	88
4.7.2	脉宽调制指令 PWM	88
4.8	方便指令	89
4.8.1	置初始状态指令 IST	89
4.8.2	交替输出指令 ALT	89
4.9	外部设备指令	89
4.9.1	串行通信指令 RS	89
4.9.2	并行数据传送指令	90
4.9.3	七段译码指令	90
4.9.4	比例积分微分指令	90
4.10	功能指令汇总表	90
习题 4		93
第 5 章	FX 系列 PLC 通信技术	95
5.1	PLC 通信的基本知识	95
5.1.1	通信系统的基本概念	95
5.1.2	FX _{2N} 系列 PLC 的通信形式	99
5.2	PLC 与计算机的通信	99
5.2.1	计算机与多台 PLC 的连接	99
5.2.2	通信协议	100
5.3	FX _{2N} 系列 PLC 的 N:N 通信网络	102
5.3.1	N:N 网络的特点	102
5.3.2	N:N 网络的参数设置	102
5.3.3	N:N 通信网络示例	103
5.4	双机并行通信	105
5.4.1	与并行链接有关的标志寄存器	105
5.4.2	并行通信模式的设置与连接	105
5.4.3	双机并行通信示例	106

习题 5	106
第 6 章 FX_{2N} 系列 PLC 的特殊功能模块	108
6.1 特殊功能模块的类型及使用方法	108
6.1.1 FX _{2N} 系列 PLC 特殊功能模块的类型及用途	108
6.1.2 模拟量 I/O 模块的使用说明	109
6.2 FX _{2N} -4AD 模拟量输入模块	111
6.2.1 FX _{2N} -4AD 模拟量输入模块的连接及设置	111
6.2.2 FX _{2N} -4AD 模拟量输入模块的应用	112
6.3 FX _{2N} -4DA 模拟量输出模块	114
6.3.1 FX _{2N} -4DA 模拟量输出模块的连接及设置	114
6.3.2 FX _{2N} -4DA 模拟量输出模块的应用	115
6.4 FX _{2N} -4AD-PT 温度模拟量输入模块	116
6.4.1 FX _{2N} -4AD-PT 温度模拟量输入模块设置	116
6.4.2 FX _{2N} -4AD-PT 温度模拟量输入模块的应用	117
6.5 FX _{2N} -2LC 过程控制模块	118
习题 6	120
第 7 章 可编程序控制器的实际应用	121
7.1 PLC 控制系统的设计	121
7.1.1 PLC 控制系统设计的步骤和内容	121
7.1.2 PLC 硬件的选择	123
7.1.3 控制程序的设计方法	123
7.1.4 减少所需 I/O 点数的方法	124
7.1.5 程序的调试与运行	126
7.2 PLC 在顺序控制中的应用	126
7.2.1 PLC 在机械加工中的应用	126
7.2.2 按钮式交通灯的控制	131
7.2.3 送料车的定点呼叫控制	135
7.3 PLC 在生产过程中的应用	138
7.3.1 PLC 过程控制系统的组成	138
7.3.2 PLC 的过程控制算法	139
7.3.3 PLC 在温度控制系统中的应用	144
习题 7	146
第 8 章 编程器与编程软件的功能及使用	148
8.1 FX-20P-E 型编程器的使用	148
8.1.1 FX-20P-E 型编程器简介	148
8.1.2 FX-20P-E 型编程器的操作使用	151

8.2	Fxgpwin 编程软件的使用	154
8.2.1	Fxgpwin 编程软件使用说明	155
8.2.2	编程软件的程序编辑操作	156
8.3	GX Developer 编程软件的使用	159
第 9 章	实验指导	166
9.1	可编程控制器认识实验	166
9.2	基本逻辑指令实验	168
9.3	栈指令、主控指令和脉冲指令实验	170
9.4	定时器和计数器实验	173
9.5	跳转和比较指令实验	175
9.6	步进顺序控制指令实验	178
9.7	传送、移位指令和解码、编码指令实验	180
9.8	加 1、减 1 和交替输出指令实验	184
9.9	功能指令应用实验	186
9.10	简单控制程序应用实验	188
第 10 章	实训指导	191
10.1	PLC 实训教学的要求	191
10.1.1	PLC 实训的任务和要求	191
10.1.2	课题的设计方法与步骤	192
10.1.3	实训课题的确定	193
10.2	电子产品自动控制课题	193
10.2.1	自动洗衣机控制	193
10.2.2	自动售货机控制	194
10.2.3	抢答器控制	194
10.3	生产线自动控制课题	195
10.3.1	机床动力头自动控制	195
10.3.2	大、小球分检控制	196
10.3.3	皮带运输机控制	198
10.3.4	双料斗皮带运输机控制	198
10.3.5	药片自动装瓶机控制	199
10.3.6	水箱液位控制	200
10.4	交通类自动控制课题	202
10.4.1	自动门控制	202
10.4.2	交通灯自动控制	202
10.4.3	隧道内汽车双向行驶控制	203
10.4.4	5 层电梯的 PLC 控制	205
10.5	模拟量数据处理课题	206

10.5.1	模拟输入信号的软件滤波	206
10.5.2	仪表量程转换控制	207
10.6	生产过程自动控制实训课题	208
10.6.1	植物灌溉系统的控制	208
10.6.2	化工加热炉温度控制	210
10.6.3	干燥箱温度控制	211
10.6.4	LM35 温度传感器控温及报警	212
10.6.5	炉窑温度模糊控制	213
10.6.6	育苗房温度和湿度的控制	214
10.7	机械加工控制实训课题	215
10.7.1	反接制动继电器控制改建 PLC 控制	215
10.7.2	普通机床的 PLC 控制	216
附录 A	FX _{2N} 系列 PLC 的输入/输出端子排列图	217
附录 B	FX 系列 PLC 特殊辅助继电器的功能说明表	219
参考文献	220

可编程控制器的基本概况

本章要点

1. 可编程控制器的功能及应用范围。
2. 可编程控制器的基本组成及工作原理。
3. 可编程控制器开关量 I/O 单元的作用及接线方式。

1.1 可编程控制器简介

1.1.1 可编程控制器的产生和定义

可编程控制器（Programmable Controller）简称 PC，为了避免和通用计算机的简称 PC 混淆，在很多书中对可编程控制器仍沿用 PLC 的简称。

1968 年美国的汽车工业（通用汽车公司）首先提出了可编程控制器的概念，1969 年美国数字设备公司（DEC）研制出了世界上第一台 PLC，这时的可编程控制器只能用于执行逻辑判断、定时、计数等顺序控制功能，所以称为可编程序逻辑控制器（Programmable Logical Controller），简称 PLC。PLC 最早用以取代汽车生产线上的继电器控制系统，随即扩展到食品加工、制造、冶金等工业部门。1971 年日本引进了这项生产技术，并开始生产自己的 PLC。1973 年欧洲的一些国家也研制生产了自己的 PLC。

进入 20 世纪 70 年代后，随着半导体技术及微机技术的发展，PLC 采用了微处理器作为中央处理器，输入/输出单元和外围电路也都采用了中、大规模甚至超大规模的集成电路，使 PLC 具有多项优点，并形成了各种规格的系列产品，成为一种新型的工业自动控制标准设备。这时的 PLC 已经有逻辑判断、数据处理、PID 控制和数据通信功能，因此被改称为可编程控制器，简称 PC。

1987 年 2 月，国际电工委员会（IEC）在可编程控制器的标准草案中做了如下定义：“可编程控制器是一种数字运算操作的电子系统，专为在工业环境应用而设计，它采用可编程序的存储器存储逻辑运算、顺序控制、定时、计数和算术运算等操作的指令，并通过数字式和模拟式的输入/输出接口，控制各种类型的机械或生产过程。可编程控制器及其有关外围设备，



易于与工业控制系统连成一个整体，并易于扩充其功能。”

可编程控制器在其内部结构和功能上都类似于通用计算机，所不同的是可编程控制器还具有很多通用计算机所不具备的功能和结构。如 PLC 有一套功能完善且简单的管理程序，能够完成故障检查、用户程序输入、修改、执行与监视等功能；PLC 还有很多适应于各种工业控制系统的模块；PLC 采用以传统电气图为基础的梯形图语言编程，方法简单且易于学习和掌握。所以在控制系统应用方面 PLC 优于计算机，它易于和自动控制系统相连接，可以方便灵活地构成不同要求、不同规模的控制系统，其环境适应性和抗干扰能力极强，所以可将可编程控制器称为工业控制计算机。由于这些特点，目前可编程控制器已成为工业自动化控制系统的重要支柱。

1.1.2 可编程控制器的功能及特点

1. 可靠性高、抗干扰能力强

因为可编程控制器是专为工业控制而设计的，所以除了对内部元器件进行严格地筛选外，在软件和硬件上都采用了许多抗干扰的措施，如屏蔽、滤波、隔离、故障诊断和自动恢复等，这些措施大大地提高了 PLC 的抗干扰能力和可靠性。另外，由于 PLC 采用循环扫描的工作方式，所以能在很大程度上减少软故障的发生。在一些高档的 PLC 中，还采用了双 CPU 模块并行工作的方式。如 OMRON 2000H 大型机，即使它的 CPU 出现一个故障，系统也能正常工作，同时还可以修复或更换有故障的 CPU 模块；又如西门子的 S5-115H 型 PLC，它不仅 CPU 是冗余的，内部系统中所有的模块也都是冗余的，这样就极大地增加了控制系统整体的可靠性。可编程控制器的平均无故障时间达到 30 万小时以上。

2. 适应性强，应用灵活

由于 PLC 是系列化产品，其品种齐全，多数采用模块式的硬件结构，所以组合和扩展方便，用户可以根据自己的需要灵活选用，以满足各种不同规模控制系统的需要。

3. 编程方便，易于使用

可编程控制器是面向现场应用的电子控制装备，一直采用大多数电气技术人员熟悉的梯形图语言。梯形图语言延续使用继电器控制系统的许多符号和规定，形象直观、易学易懂，电气工程师和具有一定基础的技术操作人员都可以在短时间内学会。这是和学习掌握计算机控制技术的一个较大区别。

4. 具有各种接口，与外部设备连接方便，适应范围广

目前可编程控制器的产品已经系列化、模块化，具有各种数字、模拟量的 I/O 接口，能将生产现场的多种规格的直流、交流信号直接接入可编程控制器，其输出接口在多数情况下也可以直接与各种执行器（继电器、接触器、电磁阀、调节阀等）相连接。因此能方便地进行系统配置，组成规模、功能不同的控制系统。其适应能力非常强，利用它可以控制一台单机自动化系统，也可以控制一条生产线，还可以使用在复杂的集散控制系统中。



5. 功能完善

可编程控制器具有模拟和数字量输入/输出、逻辑运算、定时、计数、数据处理、通信、人机对话、自检、记录和显示等功能，可以实现顺序控制、逻辑控制、位置控制和生产过程控制，通过编程器在线和离线修改程序，就能更改系统的控制功能及要求。

1.1.3 可编程控制器的应用及发展

1. 可编程控制器的应用

可编程控制器近年来不断地发展和完善，目前它已广泛应用于机械制造、石化、冶炼、电力、轻纺、汽车、交通及各种机电产品的生产中，其应用类型包括以下几种。

(1) 顺序控制和时序控制。这是可编程控制器最早的一种应用方式，也是应用最广的领域，目前已经取代了继电器在顺序控制系统中的主导地位，例如各种生产、装配、包装流水线的控制，化工工艺过程的控制，印刷机械、组合机床的控制，交通运输及电梯的控制等。

(2) 过程控制。在工业生产过程中用可编程控制器可以实现对温度、压力、流量、物位、成分等各种模拟量的控制。具有 PID 控制能力的 PLC，通过其模拟量的输入/输出单元，可以实现闭环的过程控制，还可以和计算机联网组成集散控制系统。

(3) 数据处理。可编程控制器具有四则运算、数据传送、数据变换、数据比较等功能，可以方便地对生产过程中的数据进行处理，可以实现软件滤波、线性化处理、标度变换的功能，构成多路巡回监测系统、闭环控制系统及模糊控制系统。

(4) 联网和显示打印。一台可编程控制器可以和计算机或其他可编程控制器用在集散控制系统中。可编程控制器的通信模块可以满足通信联网的要求，同时可编程控制器还可以连接显示终端和打印机等外围设备，实现显示和打印功能。

2. 可编程控制器的生产现状

自 20 世纪 60 年代末，美国的通用汽车公司首先研制和使用了可编程控制器以后，世界各国都相继开发了自己的 PLC 产品，在一些发达国家，新的 PLC 生产厂家不断涌现，新的品种层出不穷。下面简单介绍国外较著名的生产厂家及其产品。

(1) 美国生产 PLC 的厂商。

① 美国罗克韦尔 (ROCKWELL) 公司，PLC 是它的重要产品。它的产品有适应单机和小型控制系统的 SLC-500 型 PLC，以及适应大型控制系统的 PLC-5 型机，其指令丰富，除了具有一般的逻辑指令外，还具有 \log_{10} 、 10^x 、 $\sin x$ 、 $\cos x$ 、 $\log e$ 以及倒数、平均值与标准偏差等高级算术运算功能及 PID 运算功能等。

② 美国通用电气 (GENERAL ELECTRIC) 公司，简称 GE 公司。通用电气公司是世界上生产 PLC 最早的厂商之一，其主要的产品是 GE 系列 PLC。GE-FANAC 公司为 GE 公司和日本法南克 (FANAC) 合资的公司，其 90-70 系列 PLC 为超大型机，90-30 系列为中型机，90-20 系列为小型机。

③ 美国德州仪器 (TEXAS INSTRUMENTS) 公司，简称 TI 公司。该公司的主要产品有 TI 系列，小型机有 TI 510、520 和 TI 315、325、330 等；中型机有 TI 425、435、530 和 5TI



等；大型机有 TI 560、565 等。TI 565 的 I/O 点数可达 8 192 点，PID 控制回路可达 64 路，能完成相当复杂的生产控制和数据采集。

④ 美国西屋（WESTING HOUSE）公司。该公司生产的主要产品是 Numa-Logic 系列 PLC。目前已由我国上海调节器厂引进其生产技术，并已生产出与其产品完全兼容的 PLC 产品。

⑤ 美国生产 PLC 的厂商还有歌德（GOUID MODICON）公司，简称 GM 公司，生产 MICRO 系列 PLC 产品。

（2）德国生产 PLC 的主要厂商。

① 西门子（SIEMENS）公司。西门子公司生产 S 系列的 PLC，其中小型机有 S5-95U、S5-100U；中型机有 S5-115U；大型机有 S5-135U、S5-155U。其最大的开关量 I/O 点数为 6 144 点，模拟量 I/O 通道数为 384 路。1995 年年底西门子公司推出了性价比很高的 S7-200、S7-300 系列 PLC，1996 年又推出了 S7-400 系列新产品、自带人机界面的 C7 系列 PLC、与 AT 计算机兼容的 M7 系列 PLC 等多种新产品。

② 德国生产 PLC 的厂商还有施耐德自动化公司。德国奔驰集团下的 AEG 公司在 20 世纪 90 年代初全资收购了莫狄康（Modicon）公司，现在称为 AEG 施耐德自动化公司。该公司拥有三家著名的 PLC 生产厂家，即美国的 Modicon 公司、Square D 公司以及法国的 TE（Telemecanique）公司。AEG 施耐德自动化公司在北美市场所占份额居第二位，也是最早进入中国市场的国外商家之一。它的产品主要有 Modicon TSX 系列 Nano、Neza 和 Micro；84 系列，包括 0085、0185、M84、184、484、884 等。

（3）法国生产 PLC 的厂商主要有 TE（Telemecanique）公司。

（4）日本生产 PLC 的主要厂商。

① 三菱（MITSUBISHI）公司。FX_{2N}型和 FX_{2NC}型 PLC 是三菱公司的单元式小型产品。AnS、A 系列是模块式大型 PLC，其 I/O 点数最多可达 4 096 点，最大用户程序存储容量可达 120k 步，具有多模拟量系统的 PID 回路控制功能，可以方便地完成位置控制及几十个回路模拟量的 PID 控制，同时还具有很强的通信能力。它既有同轴电缆通信接口，又有光纤通信接口，同时具备 26 种智能式专用的功能模块，并配有丰富的系统软件，能方便地与上位计算机及各种外设进行通信，满足生产过程自动控制的各种要求。

② 立石（OMRON，欧姆龙）公司。该公司主要生产 SYSMAC C 系列大、中、小型 PLC。其高档机 C2000H 可控制 2 048 个 I/O 点，存储容量 32KB，基本指令执行时间 0.4~2.4μs，可组成双机系统（一个处于运行状态，另一个处在“热备”状态），具有运算、显示、通信等功能，还能实现中断控制、过程控制、远程控制，以及与上位机或下位机进行数据通信和控制等。

③ 日立（HITACHI）公司。该公司生产的 EM 系列 PLC 均采用模块式结构，由电源、CPU、若干 I/O 模块及与安装这些模块相适应的框架组合而成。其中 I/O 点数为 24~320 点，配置灵活，且可以节省安装面积。

④ 日本生产 PLC 的厂商还有东芝公司（EX 及 E-PLUS 系列 PLC）、富士电机公司（NB、NJ、NS 系列 PLC）和松下公司（EP 系列 PLC）等。

以上是美、德、法、日等国部分 PLC 生产厂商及产品的简单介绍，仅供参考。



3. 可编程控制器的发展

PLC 自问世以来,经过 40 多年的发展,已成为很多发达国家的重要产业,PLC 在国际市场已成为最受欢迎的工业控制产品。随着科学技术的发展及市场需求量的增加,PLC 的结构和功能在不断地改进,生产厂家不停地将功能更强的 PLC 推入市场,平均 3~5 年就更新一次。PLC 的发展方向主要有以下几个方面。

(1) 向体积更小、速度更快的方向发展。虽然现在小型 PLC 的体积已经很小,但是微电子技术及电子电路装配工艺的不断改进,会使 PLC 的体积变得更小,以便于嵌入到任何小型的机器和设备之中,同时 PLC 的执行速度也越来越快,目前大型 PLC 的程序执行速度可高达 34ns,从而保证了控制作用的实时性,可使系统的控制作用及时、准确。

(2) 向大型化、高可靠性、好的兼容性、多功能方向发展。现在的大型 PLC 向着容量大、智能高和通信功能强的方向发展,例如: I/O 点数达 1 4336, 32 位微处理器,多 CPU 并行工作,大容量存储器,扫描速度高速化等。三菱公司的 AnA 系列可编程控制器使用了世界上第一个在一块芯片上实现 PLC 全部功能的 32 位微处理器,即顺序控制专用芯片,其扫描一条基本指令的时间为 $0.15\mu\text{s}$ 。松下公司的 FP10SH 系列 PLC 采用 32 位 5 级流水线 RISC 结构的 CPU,可以同时处理 5 条指令,顺序指令的执行速度高达 $0.04\mu\text{s}$,高级功能指令的执行速度也有很大的提高。在有两个通信接口、256 个 I/O 点的情况下,FP10SH 中的扫描时间为 $0.27\sim 0.42\text{ms}$,大大提高了处理程序的速度。

在模拟量的控制方面,除了专门用于模拟量闭环控制的 PID 模块外,随着模糊控制技术的发展,具有模拟量的模糊控制、自适应、参数自整定功能的可编程控制器,应用方便,调试时间缩短,使控制精度进一步得到提高。

(3) 与其他工业控制产品的结合。在大型自动控制系统中计算机和 PLC 在应用功能方面互相融合、互补、渗透,使控制系统的性价比不断提高。目前工业控制系统的趋势是采用开放性的应用平台,即网络、操作系统、监视及显示均采用国际标准或工业标准,如操作系统采用 UNIX、MS-DOS、Windows、OS2 等,这样可实现不同厂家的 PLC 产品可以在同一个网络中运行。

目前个人计算机主要用于 PLC 的编程器、操作站或人机接口终端。1988 年,美国 AB 公司与 DEC 公司联合开发的金字塔集成器,使 PLC 和工业控制计算机有机的结合在一起,研制出一种新型的 IPLC 型可编程控制器(集成 PLC)。IPLC 是能运行 DOS 或 Windows 操作系统的可编程控制器,它实际上是一个能用梯形图语言以实时方式控制的 I/O 计算机。近年来推出以计算机和 PLC 结合应用的方式有:在 PLC 的 CPU 模块旁边加插 Windows CPU 或在计算机总线上插入 PLC 的 CPU 模块,采用这种方式后生产和管理更加便利,将数据处理、通信、控制程序统一起来,保留了 PLC 的简单、易用和高可靠性的特点,同时又具有计算机强大的数据处理能力,使现场的生产数据、生产计划调度、管理可以直接上机操作获取。

1.1.4 可编程控制器的分类及性能指标

1. 可编程控制器的分类

(1) 根据生产厂家的产品类型、系列分类。目前可编程控制器的生产厂家很多,但主要



分为欧、美、日三大块。在中国市场上，欧洲最具代表性的是西门子公司的产品，美国的代表产品是 AB 与 GE 公司的产品，日本的代表产品是三菱、欧姆龙公司的产品。各公司产品型号、规格的命名方式都不统一，这些内容在前面“可编程控制器的生产现况”中已介绍，这里不再赘述。

(2) 根据 PLC 的 I/O 点数和存储器容量分类。按照 PLC 的 I/O 点数、存储器容量的不同，PLC 大体上可以分为大、中、小和微型机共四个等级。微型机的 I/O 点数在 100 点左右。小型 PLC 的 I/O 点数在 256 点左右，用户程序存储器容量为 2K 字以下（1K=1 024，存储一个 1 或 0 的二进制码称为一位，一个字为 16 位）。有的 PLC 用“步”来衡量，一步占用一个地址单元，它表示 PLC 能存放多少用户程序。中型 PLC 的 I/O 点数在 500~1 000 之间，用户程序存储器容量一般为 2~8K 字。大型 PLC 的 I/O 点数在 1 000 点以上。用户程序存储器容量达 8K 字以上。

(3) 按照结构形状分类。按照 PLC 的结构形式可将可编程控制器分为整体式和模块式两种。

① 整体式（箱体式）结构的 PLC。这种结构的 PLC 是将 PLC 的电源、中央处理器、输入/输出部件集中配置在一起，有的甚至全部安装在一块印制电路板上，装在一个箱体内，通常称为主机（或基本单元）。例如三菱公司的 FX0N、FX2N 系列 PLC，整体结构紧凑、体积小、重量轻、价格低，但主机的 I/O 点数固定，使用不灵活。小型 PLC 常使用这种结构。

② 模块式（积木式）结构的 PLC。这种结构的 PLC 是将 PLC 的各个部分以模块的形式分开，如电源模块（选项）、CPU 模块、输入模块、输出模块，把这些模块插入机架底板上，组装在一个机架内。这种结构配置灵活，装配方便，便于扩展，一般中型和大型 PLC 常采用这种结构。例如三菱公司的 A 系列 PLC，模块式结构较复杂，且造价高。

(4) 按照 PLC 功能的强弱来分，可以大致分为低档机、中档机、高档机三种。低档 PLC 具有逻辑运算、定时、计数等基本功能。有的还增设了模拟量的处理、算术运算、数据传送等功能，可以实现逻辑、顺序、定时、计数等控制。中档 PLC 除了具有低档机的功能外，还具有较强的模拟量输入/输出、算术运算、数据传送、通信联网等功能，可完成既有开关量又有模拟量的控制任务。高档 PLC 除具有中档机的功能外，增设带符号算术运算、矩阵运算等功能，使其运算能力提高。高档机还具有模拟调节、联网通信、监视、记录和打印等功能，使 PLC 的功能更多更强，能进行远程控制和大规模过程控制，构成集散控制系统。

2. 可编程控制器的主要性能指标

(1) 输入/输出点数。I/O 点数是指 PLC 的外部输入、输出端子数。PLC 的输入、输出信号有开关量和模拟量两种，对于开关量用最大的 I/O 点数表示，而对于模拟量用最大的 I/O 通道数表示。

(2) PLC 内部继电器的种类和点数。它包括辅助继电器、特殊的辅助继电器、定时器、计数器和步状态继电器等。

(3) 用户程序存储量。PLC 的用户程序存储器用于存储通过编程器编入的用户程序。通常用 K 字（KW）、K 字节（KB）、K 位来表示。

(4) 扫描时间。扫描时间是指 PLC 执行一次解读用户逻辑程序所需的时间，一般情况下用一个粗略指标表示，即用每执行 1 000 条指令所需时间来估算，通常为 10ms 左右，小型机



可能大于 20ms。也有用 ms/K 为单位表示的，例如 20ms/K 字表示扫描 1K 字的用户程序需要的时间为 20ms。

(5) 编程语言及指令功能。PLC 常用的语言有梯形图语言、助记符语言、流程图语言及某些高级语言等，目前使用最多的是前两种，不同的 PLC 具有不同的编程语言。PLC 的指令可分为基本指令和扩展指令，基本指令是各种类型的 PLC 都有的，其主要是逻辑指令，而不同厂家的不同型号的 PLC 其指令扩展的深度是不同的。

(6) 工作环境。一般 PLC 的工作温度为 0~55℃，最高为 60℃，储藏温度为-20℃~+85℃，相对湿度为 5%~95%，空气条件是周围不能混有可燃性、易爆性和腐蚀性气体。

(7) 可扩展性。小型 PLC 的基本单元（主机）多为开关量的 I/O 接口，各个生产厂家在 PLC 基本单元的基础上，发展了各种智能扩展模块，如模拟量处理、高速处理、温度控制、通信等。智能扩展模块的多少可以用于反映 PLC 产品功能的指标。

1.2 可编程控制器的构成及工作原理

1.2.1 可编程控制器的基本组成

可编程控制器主要由中央处理单元（CPU）、存储器（RAM、ROM）、输入/输出单元（I/O）、电源和编程器等组成，如图 1.1 所示。

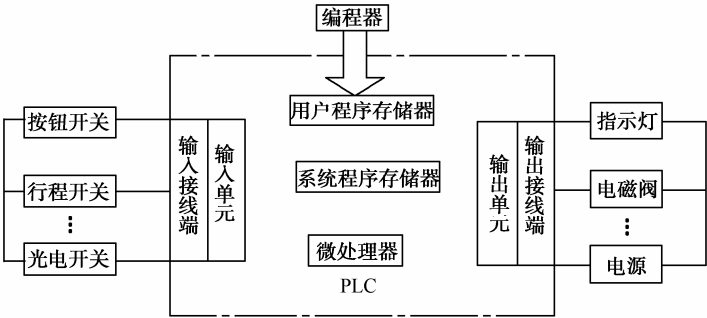


图 1.1 可编程控制器的组成

1. 中央处理单元（CPU）

中央处理单元是 PLC 的核心，它主要采用以下几种类型的 CPU 芯片：通用微处理器（如 Inter 公司的 8080、8086、80386 到 Pentium 系列芯片等）、单片机（如 Inter 公司的 8051、8096 系列等）以及双极位片式微处理器（如 AM2900、AM2901、AM2903 等）三种类型，也有厂家采用自行设计的专用 CPU 芯片。

一般小型 PLC 的 CPU 多采用单片机或专用 CPU，大型 PLC 多采用位片式结构。PLC 的档次越高，CPU 的位数越多，系统处理的信息量越大，运算的速度就越快，指令功能也越强。

2. 存储器

PLC 内部配有两种存储器：系统程序存储器和用户程序存储器。系统程序存储器用于存



放 PLC 内部系统的管理程序；用户程序存储器用于存放用户编制的控制程序。PLC 采用 COMS-RAM 存储器或采用 EPROM 及 EEPROM 存储器。EEPROM 是一种电可擦除的只读存储器，既可以字节擦除，也可以整片擦除，用于存放用户程序，使用 EEPROM 无须电池就能实现掉电保护。

用户程序存储器的容量一般以字为单位，三菱公司的 FX 系列 PLC 的用户程序存储器以步为单位（每步占 2 个字）。小型 PLC 的用户程序存储器的容量一般是固定的，大中型 PLC 的用户存储器的容量可以由用户选择。

3. 输入/输出单元（I/O接口电路）

由于实际生产过程中的信号是多种多样的，控制系统所要配置的执行机构也是多种类型的，而 PLC 的 CPU 所处理的信号只能是标准电平，为了使 PLC 能直接用于控制系统，设计了 I/O 单元。I/O 单元是 PLC 与工业控制现场各类信号连接的接口部件，在模块式 PLC 中采用的是模块式 I/O 部件。输入单元还具有信号的电隔离、滤波等作用，PLC 有了 I/O 单元就可以将各种开关、按钮以及传感器等直接接到 PLC 的输入端，也可以将各种执行机构（电磁阀、继电器、接触器、调节阀、调速器等）直接接到 PLC 的输出端，它们可以用直流、交流，或高电压、低电压开关量信号驱动的机构，也可以是用模拟量驱动的机构。

4. 电源单元

PLC 的供电电源一般为市电，也有用 24V 供电的。PLC 对电源的稳定度要求不高，一般允许电源在电压额定值 $-15\% \sim 10\%$ 的范围内波动。其 CPU 单元和 I/O 单元由 PLC 内部的稳压电源供电，小型的 PLC 电源和 CPU 单元是一体的，中大型的 PLC 都有专门的电源单元。有些 PLC 的电源部分还有 24V/DC 输出，用于对外部传感器供电，但电流是毫安级。

5. 编程器

编程器用于将用户程序送入 PLC 的存储器，是 PLC 最重要的外部设备。编程器可用于编程，也可用来进行程序的修改和检查，还可对 PLC 工作状态进行监控。小型机一般使用简易的手持编程器，大中型 PLC 采用带有显示屏的编程器及在通用计算机上采用专用软件编程。

1.2.2 可编程控制器的编程语言

1. 可编程控制器的编程方式

（1）在线（联机）方式。编程器与 PLC 的在线（联机）编程方式，是将编程器与可编程控制器的专用插座直接相连，或通过一个专用的接口相连，可以将用户程序直接写入到 PLC 的用户存储器中。也可以将程序先存在编程器的存储器中，然后再转入 PLC 的用户存储器中。这种编程方式有利于程序的调试和修改，并可以监视 PLC 内部器件（如定时器、计数器、触点等）的工作状态。例如对 PLC 的内部器件实施强迫接通/断开、置位/复位命令，以及监控器件的功能是否正常。

（2）离线（脱机）编程方式。编程器与 PLC 的离线编程方式，是先将程序存放在编程器



的存储器中，在程序写入后与 PLC 连接，再将程序送到 PLC 的用户程序存储器中。离线编程不影响 PLC 的工作。

2. 可编程控制器的常用编程语言

目前 PLC 在编程语言方面的兼容性较差，不同厂家的 PLC 其编程语言是不同的，而同一厂家不同系列的 PLC，其编程语言及规定也都有差异。PLC 常用的编程语言如下所述。

(1) 梯形图语言。梯形图语言形象直观，逻辑关系明显、实用，电气技术人员容易接受，是目前使用最多的一种 PLC 编程语言，梯形图语言如图 1.2 所示。梯形图中的继电器、定时器、计数器等都不是物理器件，这些器件实际上是 PLC 存储器中的某个单元，也称“位”，所以这些非物理继电器被称为软件继电器。当存储器中的某位为 1 时，表示相应的继电器线圈得电或者是相应的动合触点闭合、动断触点断开。

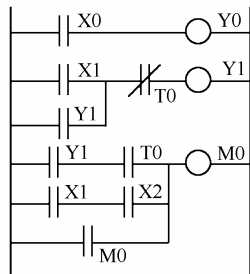


图 1.2 梯形图

PLC 的梯形图是形象化的编程语言，梯形图左右两端的母线是不接任何电源的，所以梯形图中没有任何物理电流流过，但分析解读图时，常常假设有一个电流流过。当如图 1.2 所示中的输入信号 X0 为 ON 时，线圈 Y0 得电，该线圈所带的动合触点闭合，动断触点断开，这个电流是一个概念电流，或称为假想电流。分析时可认为左母线是电源的正极，右母线是电源的负极，所以概念电流从左向右流动，梯形图逻辑执行的顺序是从左到右，从上到下。概念电流是执行程序时满足输出执行条件的形象理解。

PLC 的梯形图可以由多个梯级组成，每个梯级有一个或多个支路，由一个输出元件（运算结果）构成，最右边的元件必须是输出元件。一个梯形图梯级的多少，取决于控制系统的复杂程度，但一个完整的梯形图至少应有两个梯级（含 END 语句）。

(2) 指令语句表编程语言。这种编程语言是一种和计算机汇编语言类似的助记符语言形式，它由一系列操作指令组成的语句表将控制流程描述出来，并通过编程器送到 PLC 中。指令语句表是由若干条语句组成的程序，语句是程序的最小独立单元，每个操作功能由一条或几条语句来执行，每一条语句由操作码、操作数两部分组成。操作码用助记符表示，如 LD、OR、LDI 等，用来说明要执行的功能（需要 PLC 完成的操作），如逻辑与、逻辑或、定时、计数、移位等。操作数一般由标识符和参数组成，标识符表示操作数的类别，如输入继电器、输出继电器、定时器、计数器等；参数表明操作数的地址或一个预先的设定值。

(3) 顺序功能图编程。顺序功能图也是一种编程方法，这是一种图形说明语言，它用于表示顺序控制的功能，目前国际电工协会（IEC）正在实施发展这种新式的编程标准。现在，不同的 PLC 生产厂家对这种编程语言所用的符号和名称也是不一样的，三菱公司称其为功能图语言。图 1.3 表示一个顺序功能图的编程示例。采用功能图对顺序控制系统编程非常方便，同时也很直观，在功能图中用户可以根据顺序控制步骤执行条件的变化，分析程序的执行过程，可以清楚地看到在程序执行过程中每一步的状态，便于程序的设计和调试。

(4) 逻辑图编程语言。逻辑图编程语言是一种类似于数字逻辑门电路的编程语言。如图 1.4 所示，它用雷同与门、或门的方框表示逻辑运算关系。图的左侧表示逻辑运算的输入信号，右侧为输出变量，信号从左端向右端流动。现在不同的 PLC 生产厂家对这种编程语言



所用的符号和名称也是不一样的，西门子公司称其为控制系统流程图编程语言。图 1.4 表示一个“或、与、非”操作的逻辑图编程示例。

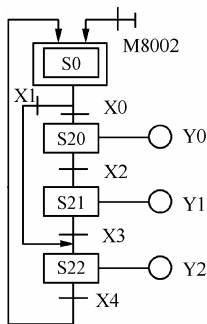


图 1.3 功能图

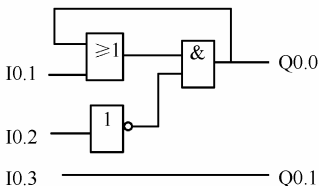


图 1.4 逻辑图

1.2.3 可编程控制器的工作原理

1. 循环扫描工作方式

PLC 在通电后，执行用户程序是它的主要工作，除此之外，还要完成一些辅助的工作，因此 PLC 实际上是按照分时操作进行工作的，此工作过程称为循环扫描工作方式，如图 1.5 所示。



图 1.5 PLC 循环扫描工作过程

在 PLC 执行用户程序之前，完成的辅助工作有初始化和通信服务。初始化工作包括硬件初始化、I/O 模块配置检查、停电保持范围设定及其他初始化。可编程控制器的输入端子不是直接与主机相连的，其输入/输出信号都首先存在输入/输出暂存器中，PLC 的 CPU 对输入/输出状态的询问是针对输入/输出暂存器的，因此在开机时，CPU 首先使输入暂存器清零，更新编程器的显示内容，更新时钟和特殊辅助继电器内容等。在通信服务阶段，PLC 要完成数据的接收和发送任务、响应编程器的输入命令、更新显示内容等。

2. PLC 执行用户程序的工作过程

当 PLC 的工作方式开关置于 STOP 状态时，只完成初始化处理和通信服务任务；当 PLC 的工作方式开关置于 RUN 状态时，除了完成初始化和通信任务外，还要执行用户程序。执行用户程序的工作过程分为以下 4 个阶段。

(1) 第一阶段：自诊断阶段。PLC 具有很强的自诊断功能，在自诊断阶段，PLC 要检查 CPU 模块及其他内部硬件工作是否正常，当确认硬件工作正常后，进入下一工作阶段。

(2) 第二阶段：输入信号处理阶段。在输入信号处理阶段，CPU 对输入端进行扫描，将获得的各个输入端子的信号送到输入暂存器存放。在同一扫描周期内，某个输入端的信号在



输入暂存器中一直保持不变,不会受到各个输入端子信号变化的影响,因此不会造成运算结果的混乱,保证了本周期内用户程序的正确执行。

(3) 第三阶段:程序处理阶段。当输入端子的信号全部进入输入暂存器后,CPU工作进入到第三个阶段。在这个阶段中,PLC进行用户程序处理,它对用户程序从上到下(从第000句到结束语句)依次扫描,并根据输入暂存器的输入信号和有关指令进行运算和处理,最后将结果写入输出暂存器中。

(4) 第四阶段:输出处理阶段。这个阶段CPU对用户程序的扫描已处理完毕,并将输出信号从输出暂存器中取出,通过输出锁存电路驱动PLC的外部负载,即控制执行元件动作。然后,CPU又返回执行下一个循环的扫描周期。

以上是PLC扫描的工作过程,只要PLC处在RUN状态,它就反复地循环工作。PLC的扫描周期就是PLC的一个完整工作周期,即从读入输入状态到发出输出信号所用的时间,它与程序的步数、时钟频率以及所用指令的执行时间有关。一般输入采样和输出刷新只需要1~2ms,所以扫描时间主要由用户程序执行的时间决定。

3. PLC循环扫描工作的特点

(1) 定时集中采样。PLC对输入端子的扫描只是在输入处理阶段进行。当CPU进入程序处理阶段后,输入端被封锁,直到下一个扫描周期的输入处理阶段才对输入状态端进行新的扫描。这种定时集中采样的工作方式保证了CPU执行程序时和输入端子隔离断开,输入端的变化不会影响CPU的工作,即切断了由输入端引入干扰的通路。

(2) 集中输出。PLC的输出数据由输出暂存器送到输出锁存器,再经输出锁存器送到输出端子上。PLC在一个工作周期内,其输出暂存器中的数据跟随输出指令执行的结果而变化,而输出锁存器中的数据一直保持不变,直到第四阶段才对输出锁存器的数据进行刷新。这种集中输出的工作方式使PLC在执行程序时,输出锁存器一直与输出端子处于隔离断开状态,即切断了由输出端引入干扰的通道。

由于具有定时集中采样和集中输出的循环扫描工作特点,使PLC在处理程序阶段,其内部电路始终和输入端、输出端保持隔离(断开状态),从而保证了PLC的抗干扰能力,提高了PLC工作的可靠性。

4. 可编程控制器执行用户程序的过程

PLC执行用户程序的过程如图1.6所示。当PLC处于RUN状态时,在初始化之后,CPU对输入端进行扫描,将输入数据存入输入暂存器,此时,PLC内部程序计数器的内容为0000,它指出了用户的第一条指令为“LD X0”,这条指令让CPU进行取指令、译码及执行操作。CPU将输入暂存器中X0单元的内容存入结果寄存器。这个动作完成后,程序计数器自动加1,CPU再将第二条指令“AND X1”存入指令寄存器,译成机器语言后执行,所执行的操作是将结果寄存器的内容和输入暂存器X1单元的内容相“与”后,存入结果寄存器。当CPU完成后,程序计数器又自动加1,再将“OUT Y0”指令存入指令寄存器,CPU执行指令将结果寄存器的内容送到输出暂存器Y0单元,……,CPU一直执行到程序的最后一条语句,才将输出暂存器中的内容送到输出锁存器,对输出信号进行刷新,然后程序计数器自动变为0000,又开始新一次自动执行程序的过程。



需要强调的是，PLC 在执行用户程序时，所取的输入数据是在扫描周期的输入信号处理阶段存入输入暂存器中的数据，并不是直接从现场传感器获得的信号，所以 PLC 在执行用户程序的过程中，输入端的变化对程序的执行不起作用。对于 PLC 的输出，在用户程序中如果对其多次赋值，则最后一次为有效。

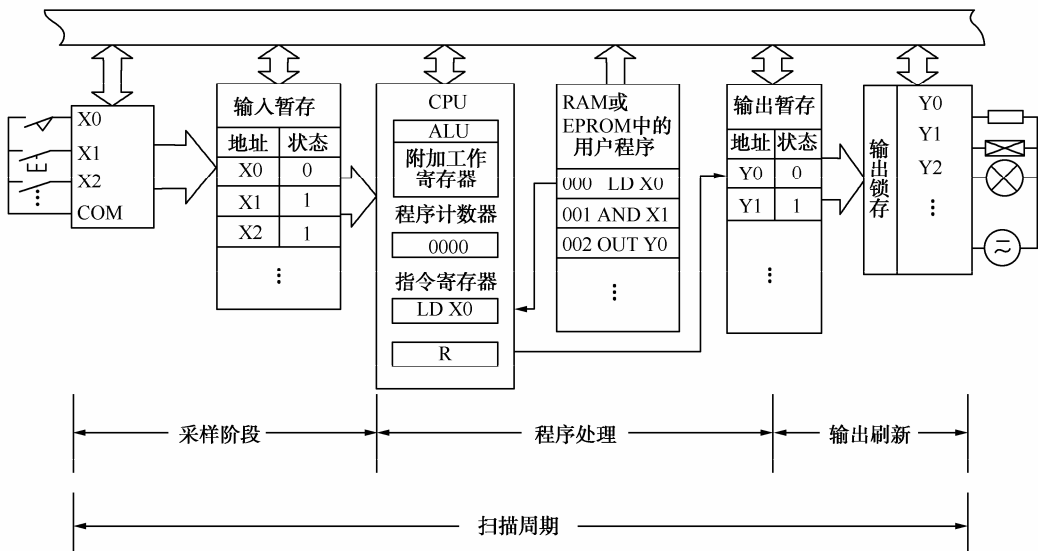


图 1.6 PLC 执行用户程序的过程

1.3 可编程控制器的开关量I/O单元

1.3.1 开关量的输入/输出单元

PLC 利用 I/O 接口电路可以直接和外部设备相连接。开关量 I/O 接口电路的作用有：信号的滤波及转换，光电隔离，输入/输出指示等。

1. 直流开关信号输入单元

当 PLC 需要接入直流电压开关信号时，要配接直流开关信号输入单元。直流开关信号输入电路的电压允许范围是 12~24V，分为 8 点和 16 点两种，16 点只允许使用 24V 电压。直流信号输入接口电路由二极管 D_1 、光电耦合器及 LED 输入指示灯 D_2 组成，如图 1.7 所示。 D_1 用于防止误将反极性输入信号接入， R_2 为 $1.5k\Omega$ ， R_1 为 150Ω ， R_2 和 R_1 电阻构成分压电路。图 1.7 (a) 所示的开关量输入接口电路采用用户电源，图 1.7 (b) 所示的输入接口电路采用 PLC 内部电源。

2. 交/直流开关信号输入单元

交/直流开关信号的输入单元如图 1.8 所示，它和直流开关信号输入单元很相像，所不同



的是它不仅可用于接入直流开关信号，也可以用于接入交流开关信号。若作为直流开关输入接口电路，则电路可以接入 $80\sim 150\text{VDC}$ 的电压。若作为交流开关信号输入接口电路，电路可以接入 $97\sim 132\text{VAC}$ 、 $50\sim 60\text{Hz}$ 的电压。电路中 R_1 和 R_2 构成分压电路，电容 C 为抗干扰电容， R_3 为限流电阻，光电隔离器起到隔离及耦合的双重作用。

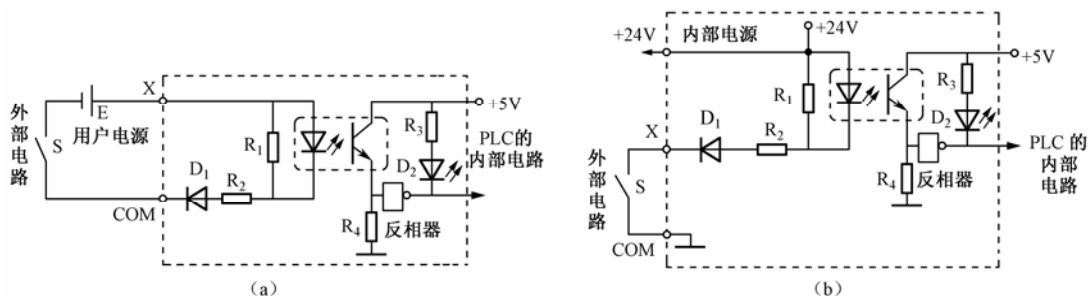


图 1.7 直流开关信号输入单元

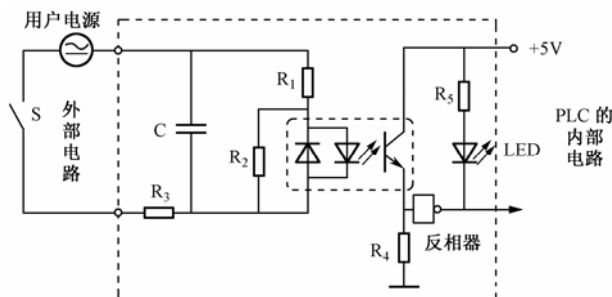


图 1.8 交/直流开关信号输入单元

3. 开关量的输出单元

利用开关量输出电路可以将 PLC 内部电路输出的电平，转换成能直接驱动 PLC 外部负载的信号。开关量的输出单元分为：继电器输出单元，晶体管输出单元及晶闸管输出单元。

(1) 继电器输出单元，如图 1.9 所示。继电器输出接口电路通过继电器接点控制负载回路电源的通断，继电器接点的状态对应于 PLC 程序中输出继电器的状态，假设 PLC 执行程序的结果为高电平，则需要驱动外部负载，此高电平经反相器变为低电平，使继电器线圈通电，其触点闭合，PLC 的负载与用户电源接通。该接口电路在使用时必须外加电源。继电

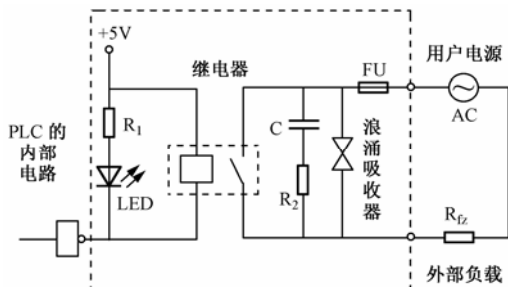


图 1.9 继电器输出单元



器输出接口电路具有适用于交、直流负载且带负载能力强等优点，缺点是动作及响应速度相对较慢。

(2) 晶体管输出单元。晶体管输出单元通过控制晶体管 T 的导通与截止，从而实现控制负载电源（用户电源）的接通与断开。晶体管输出单元如图 1.10 所示。图中，晶体管 T 为开关器件，晶体管开关的状态由用户程序决定，若 PLC 执行程序的结果为高电平，经过反相器变为低电平，使 LED 指示灯点亮，并通过光电耦合器控制晶体管 T 饱和导通，使负载接通用户电源。反之，若程序执行的结果为低电平，则晶体管 T 截止且切断负载电源。 D 为晶体管的极间保护二极管。晶体管输出单元具有动作频率高、响应速度快的特点，其缺点是只能接直流负载且带负载能力较差。

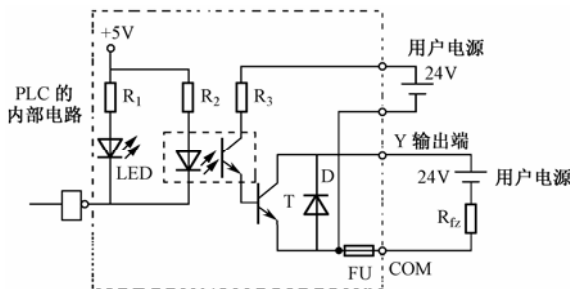


图 1.10 晶体管输出单元

(3) 晶闸管输出单元。晶闸管输出单元如图 1.11 所示，电路中采用双向晶闸管作为开关器件。PLC 的用户程序控制晶闸管的控制极，双向晶闸管可实现将用户交流电源接入负载。图中 R_3 、 C 为高频滤波电路。浪涌电流吸收器起到限幅作用，可以减小噪声干扰的影响。晶闸管输出单元适用交流负载，具有响应速度快且带负载能力强的特点。

以上所述的 PLC 的输出单元均为一个输出点的输出电路，其他各个输出点所对应的输出电路均相同。

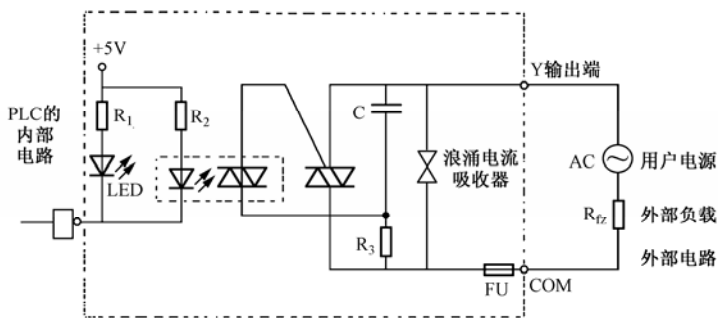


图 1.11 晶闸管输出单元

1.3.2 开关量输入/输出单元的接线方式

1. 输入接线方式

按 PLC 的输入单元与用户设备接线方式的形式可分为汇点式输入接线和分隔式输入接



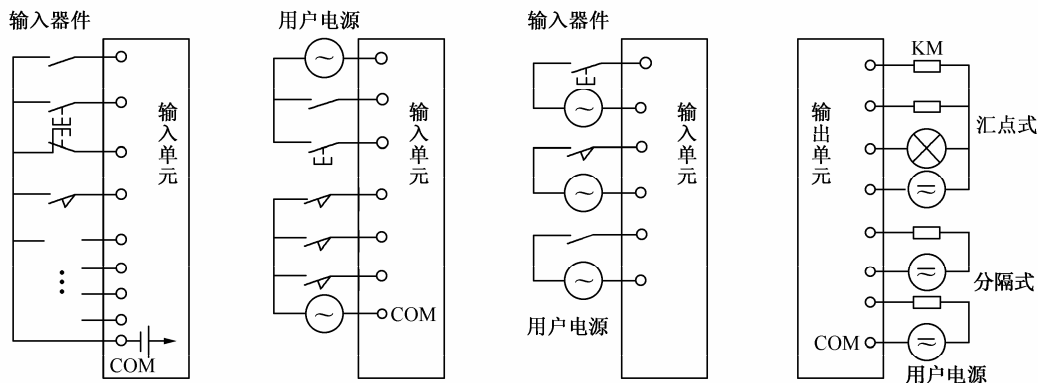
线两种基本形式，如图 1.12 所示。

汇点式输入接线是指输入回路有一个公共端（汇集端）**COM**，它可以是全部输入点为一组，并共用一个公共端和一个电源，如图 1.12 (a) 所示的直流输入单元，其直流电源由 PLC 内部提供。汇点式输入接线方式也可以采用将全部输入点分为 N 组，每组有一个公共端和一个单独的电源，如图 1.12 (b) 所示。汇点式输入接线方式可以用于直流，也可以用于交流输入单元，交流输入单元的电源由用户提供。

分隔式输入接线方式如图 1.12 (c) 所示，它是将每个输入点单独用各自的电源接入输入单元，在输入端没有公共的汇点，每个输入器件是隔离的。

2. 输出接线方式

根据输出单元与外部用户输出设备的接线形式不同，输出接线方式可分为汇点式输出和分隔式输出两种基本形式，如图 1.12 (d) 所示。可以把全部输出点汇集成一组共用一个公共端 **COM** 和一个电源；也可以将所有的输出点分成 N 组，每组有一个公共端 **COM** 和一个单独的电源。这两种形式的电源均由用户提供，可根据实际负载确定选用直流或交流电源。



(a) 汇点式接线方式1 (b) 汇点式接线方式2 (c) 分隔式输入接线方式 (d) 分隔式、汇点式输出接线方式

图 1.12 输入/输出接线

3. 开关量输入单元的接线方式说明

PLC 的输入端用于连接按钮开关及各类传感器。这些器件的功率消耗都很小，一般可以采用 PLC 内部电源为其供电，也可以由外部设备供电。图 1.13 所示为 FX 系列 PLC 的输入/输出端开关量信号的接线示意图，PLC 开关量输入端的接线说明如下所述。

(1) 图中 \bullet 表示空端子，勿接线。

(2) 如图 1.13 (a) 所示，PLC 输入端的 $X0 \sim X3$ 采用汇点式接线方式。

(3) 图 1.13 (b) 中的 $X0$ 和 $X1$ 接入传感器信号，其中 $X0$ 端的传感器采用 PLC 内部的 24VDC 工作电源供电， $X1$ 端的传感器采用外部电源为其供电。

(4) **COM** 端一般为机内电源的负极。当输入端接入的器件不是无源触点，而是某些传感器输出的电信号时，要注意传感器信号的极性，选择正确的电流方向接入电路。

(5) 对于在控制中不可能同时工作的开关信号，可以用一个输入端口接入，如图 1.13 (a)



中位置开关 SQ 的连接方法，这样可以节约 PLC 的输入端口。

(6) PLC 输入端标记为 L 和 N 的端子，用于连接工频电源 100~240VAC，它是 PLC 的外接供电电源端。

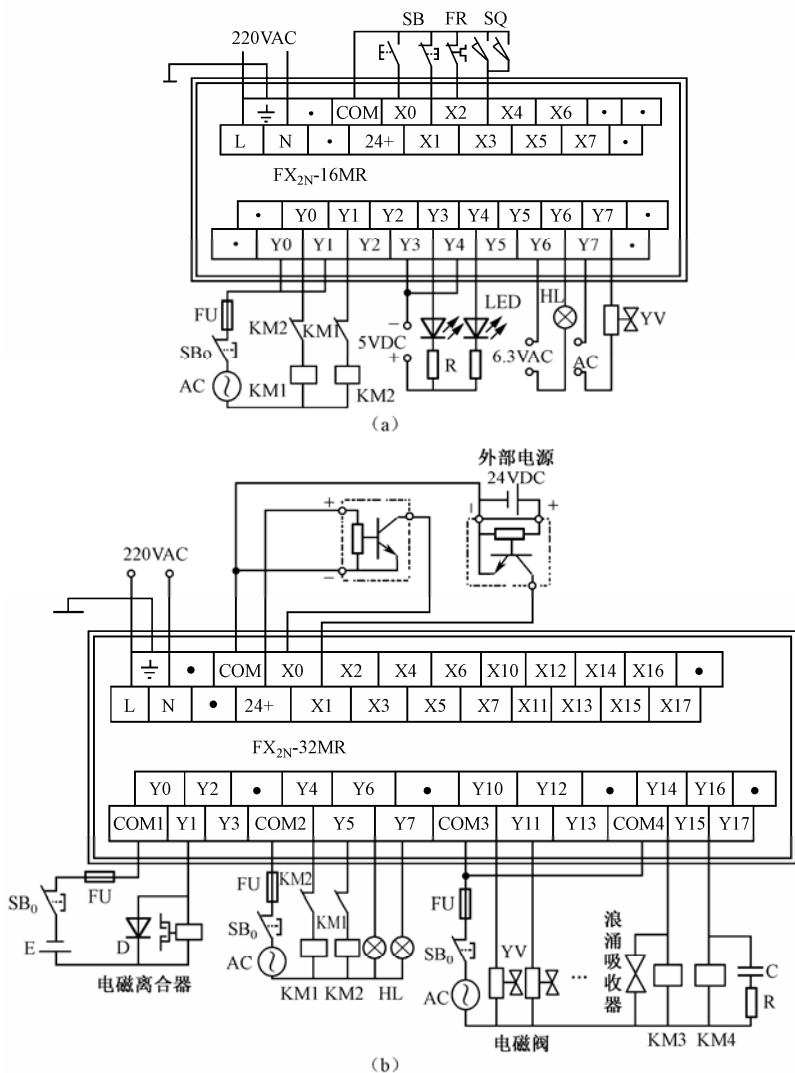


图 1.13 PLC 的输入/输出端开关量信号的接线图

4. 开关量输出端口（继电器输出）的接线方式说明

FX 系列 PLC（继电器输出型）输出端负载的连接示意图如图 1.13 所示，输出端的接线说明如下所述。

(1) 图中·表示空端子，勿接线。

(2) 由于 PLC 输出电路中未接熔断器，因此每四点应使用一个 5~15A 的熔断器 FU，用于防止因短路等原因造成 PLC 损坏。

(3) 在直流感性负载的两端并联一个二极管 D，用以延长触点的使用寿命，也可以并联



RC 放电支路。

(4) 对于驱动电动机正/反转的接触器 KM1、KM2，在 PLC 的程序中采用软件互锁的同时，在 PLC 的外部也应采取硬件互锁措施。

(5) 使用 PLC 的外部开关 SB₀ 切断负载，用于实现紧急停车。

(6) 在交流感性负载两端并联一个浪涌吸收器，用于降低噪音。

(7) 输出端连接 LED 发光二极管时，要根据外接电源电压的大小接入合适的限流电阻 R。

(8) PLC 的负载有两种连接方法，图 1.13 (b) 中的 Y1 负载单独和 COM1 端连接称为分隔式连接方法。如果负载需要采用不同的电源，则要采用分隔式的接线方式，如图 1.13 (a) 中的 Y6 和 Y7。若几个负载可以同时供电，则可采用汇点式连接的方法，如图 1.13 (b) 中的 Y4、Y5、Y6、Y7 和 Y10、Y11、Y14、Y16 的连接形式。

习题 1

- 1.1 简述可编程控制器的定义。
- 1.2 可编程控制器的主要组成部分是什么？
- 1.3 简述可编程控制器的功能和特点。
- 1.4 简述 PLC 循环扫描的工作过程及特点。
- 1.5 PLC I/O 单元的种类有哪些？和外部器件、设备连接时应注意哪些事项？
- 1.6 总结 PLC 输入/输出的接线方式。
- 1.7 PLC 输出端接负载时应注意哪些实际问题？

FX系列PLC的基本指令及编程方法

本章要点

1. FX 系列 PLC 的内部系统配置。
2. 基本逻辑指令的操作功能及编程方法。

2.1 FX系列PLC的内部系统配置

可编程序控制器的内部有许多不同功能的器件，以实现 PLC 的控制功能，如输入/输出继电器、辅助继电器、定时器、计数器等，这些器件是由电子电路和存储器组成的，这里将其统称为 PLC 的内部系统配置，即开发商为 PLC 用户提供的编程用软继电器，各种软继电器具有不同的功能，每个软继电器都有各自的编号。其继电器的编号由 PLC 的机型决定，不同厂家、不同系列的 PLC 编号是不同的，编程时要查阅 PLC 的使用说明书。本节以 FX2N 系列为例介绍 PLC 的内部系统配置。

2.1.1 FX_{2N}系列PLC的命名方式

FX_{2N} 采用一体化的箱体式结构。所有的电路都装在一个箱体内，其体积小，结构紧凑，安装方便。为了实现 I/O 点数的灵活配置及功能的扩展，FX_{2N} 系列 PLC 配有扩展单元、扩展模块和特殊功能模块。

扩展单元是用于增加 I/O 点数的装置，其内部有电源电路。扩展模块用于增加 I/O 点数及改变 I/O 比例，其内部无电源电路，需要由 PLC 的基本单元或扩展单元提供电源。因扩展单元和扩展模块内部没有 CPU，故两者必须和 PLC 的基本单元一起使用。

特殊功能模块是一些具有专门用途的装置，如模拟量的 I/O 单元、高速计数单元、位置控制单元、通信单元等，这些单元大多数是通过基本单元的扩展口与基本单元相连接的。某些特殊功能模块是通过 PLC 的编程器接口连接的，还有的通过主机上并接的适配器接入，这不影响原系统的扩展。FX_{2N} 系列 PLC 可根据控制系统的需要，仅以基本单元或由多种单元



组合使用。FX2N 系列 PLC 由基本单元、扩展单元、扩展模块及特殊功能模块共 4 种产品构成。

1. FX2N系列可编程序控制器基本单元的规格型号

FX2N 系列可编程序控制器基本单元的型号说明如下：

FX2N — ○ ○ M □ □
系列序号 I/O 总点数 基本单元 输出形式 其他区分

FX2N 系列 PLC 基本单元的内部系统配置如表 2.1 所示。

表 2.1 FX2N 系列 PLC 基本单元一览表

I/O 总点数	输入点数/ 输出点数	AC 电源 DC 输入		
		继电器输出	晶闸管输出	晶体管输出
16	8	FX2N-16MR-001	—	FX2N-16MT-001
32	16	FX2N-32MR-001	FX2N-32MS-001	FX2N-32MT-001
48	24	FX2N-48MR-001	FX2N-48MS-001	FX2N-48MT-001
64	32	FX2N-64MR-001	FX2N-64MS-001	FX2N-64MT-001
80	40	FX2N-80MR-001	FX2N-80MS-001	FX2N-80MT-001
128	64	FX2N-128MR-001	—	FX2N-128MT-001

2. FX2N系列可编程控制器扩展单元的规格型号

FX2N 系列可编程控制器扩展单元的型号说明如下：

FX2N — ○ ○ E □ □
系列序号 I/O 总点数 扩展设备 输出形式 其他区分

FX2N 系列可编程控制器扩展单元的内部系统配置如表 2.2 所示。

表 2.2 FX2N 系列 PLC 扩展单元一览表

I/O 总点数	输入点数	输出点数	AC 电源 DC 输入		
			继电器输出	晶闸管输出	晶体管输出
32	16	16	FX2N-32ER	—	FX2N-32ET
48	24	24	FX2N-48ER	—	FX2N-48ET

3. FX2N系列可编程控制器扩展模块的规格型号

FX2N 系列可编程控制器扩展模块的型号说明如下：

FX2N — ○ ○ E □
系列序号 I/O 总点数 扩展设备 输出形式

FX2N 系列可编程控制器扩展模块的内部系统配置如表 2.3 所示。

表 2.3 FX2N 系列 PLC 扩展模块一览表

I/O 总点数	输入 点数	输出 点数	继电器 输 出	输 入	晶体管 输 出	晶闸管 输 出	输入 电压	连接 方式
8 (16)	4 (8)	4 (8)	FX0N-8ER		—	—	DC24V	*
8	8	0	—	FX0N-8EX	—	—	DC24V	*
8	0	8	FX0N-8EYR	—	FX0N-8EYT	—	—	*



续表

I/O 总点数	输入 点数	输出 点数	继电器 输 出	输 入	晶体管 输 出	晶闸管 输 出	输入 电压	连接 方式
16	16	0	—	FX0N-16EX	—	—	DC24V	*
16	0	16	FX0N-16EYR	—	FX0N-16EYT	—	—	*
16	16	0	—	FX2N-16EX	—	—	DC24V	#
16	0	16	FX2N-16EYR	—	FX2N-16EYT	FX2N-16EYS	—	#

注：*为横端子台，#为纵端子台。

4. FX2N系列PLC特殊功能模块的规格型号

FX2N 系列 PLC 特殊功能模块型号如表 2.4 所示。

表 2.4 FX2N 系列 PLC 特殊功能模块型号

区分	型 号	名 称	占 有 点 数			耗 电
			输 入		输 出	
特殊 功能 板	FX2N-8AV-BD	容量适配器	—			20mA
	FX2N-422-BC	RS422 通信板	—			60mA
	FX2N-485-BD	RS485 通信板	—			60mA
	FX2N-232-BD	RS232 通信板	—			20mA
	FX2N-CNV-BD	FX0N 用适配器连接板	—			—
特殊 模块	FX0N-3A	2CH 模拟输入 1CH 模拟输出	—	8	—	30mA
	FX0N-16NT	M-NET/MINI 用（胶合导线）	8		8	20mA
	FX2N-4AD	4CH 模拟输入、输出	—	8	—	30mA
	FX2N-4DA	4CH 模拟输出	—	8	—	30mA
	FX2N-4AD-PT	4CH 温度传感器输入	—	8	—	30mA
	FX2N-4AD-TC	4CH 温度传感器输入（热电偶）	—	8	—	30mA
	FX2N-1HC	50kHz 两相调整计数器	—	8	—	90mA
	FX2N-1PG	100kpps 脉冲输出模块	—	8	—	55mA
	FX-2321F	RS232 通信接口	16		8	40mA
	FX-16NP	M-NET/M1N1 用（光纤）	16		8	80mA
	FX-16NT	M-NET/M1N1 用（胶合导线）	8	8	8	80mA
	FX-16NP-S3	M-NET/M1N1-S3 用（光纤）	8	8	8	80mA
	FX-16NP-S3	M-NET/M1N1-S3（胶合导线）	—	8	—	80mA
	FX-2DA	2CH 模拟输出	—	8	—	30mA
	FX-4DA	4CH 模拟输出	—	8	—	30mA
	FX-4AD	4CH 模拟输入	—	8	—	30mA
	FX-2AD-PT	2CH 温度输入（Pt-100）	—	8	—	30mA
	FX-4AD-TC	4CH 传感器输入（热电偶）	—	8	—	40mA
	FX-1HC	50kHz 2 相高速计数器	—	8	—	70mA
	FX-1PG	100kpps 脉冲输出块	—	8	—	55mA
	FX-1D1F	1D1F 接口	8	8	8	130mA
特殊 单元	FX-1GM	定位脉冲输出单元（1 轴）	—	8	—	自给
	FX-10GM	定位脉冲输出单元（1 轴）	—	8	—	自给
	FX-20GM	定位脉冲输出单元（2 轴）	—	8	—	自给



5. 型号名称组成符号的含义

(1) I/O 总点数。基本单元、扩展单元的输入/输出点数都相同。

(2) 输出形式。

① R: 继电器输出 (有干接点, 交流、直流负载两用);

② S: 三端双向晶闸管开关元件输出 (无干接点, 交流负载用);

③ T: 晶体管输出 (无干接点, 直流负载用)。

(3) 其他区分。AC100/200V 电源, DC24V 输入 (内部供电)。

① D: 直流电源, DC 输入。

② UA1/UL: 交流电源, AC 输入。

(4) 输入/输出形式。

① R: DC 输入 4 点、继电器输出 4 点的组合;

② X: 输入专用 (无输出);

③ YR: 继电器输出专用 (无输入);

④ YS: 三端双向晶闸管开关元件输出专用 (无输入);

⑤ YT: 晶体管输出专用 (无输入)。

6. FX_{2N}系列PLC的辅助设备

(1) 编程器。专用编程器有手持编程器和台式编程器两种。手持编程器有简单的操作键及小面积的液晶显示屏, 可以完成用户程序输入、编辑、检索等功能, 可以在线进行系统程序监控及故障检测, 是现场使用的好工具, 但由于体积小, 其显示内容受限。台式编程器是一个装有全部所需软件的工业现场便携式计算机, 程序编辑、管理的功能极强, 可以把它挂在可编程控制器网络上, 对网络上各站进行监控、调试和管理。目前比较常用的方法是采用计算机编程软件。

(2) 程序存储卡。为保证程序及重要参数的安全性, 一般小型可编程控制器设有外接的 EEPROM 卡盒接口, 通过该接口可以将卡盒的内容写入 PLC 的内部, 也可将 PLC 内的程序及重要参数传到外部 EEPROM 卡盒做备份。

(3) 写入器。写入器的功能是实现 PLC 和 EPROM 之间的程序传送, 即 PLC 中 RAM 区的程序通过写入器固化到程序存储卡中, 或将程序存储卡中的程序传送到 PLC 的 RAM 区中。

(4) 文本显示器。FX_{2N} 系列 PLC 可以配文本显示器, 这些文本显示器同时还是操作控制单元, 它可以在执行程序的过程中修改某个量的数值, 也可以直接设置输入或输出量。文本信息的显示用“选择/确认”的方法, 最多可显示 80 条信息, 每条信息最多有 4 个变量的状态, 过程参数可以在显示器上显示, 并随时修改, 面板上的功能键用于进行参数设置和诊断。

2.1.2 编程元件及使用说明

1. 输入/输出 (I/O) 继电器

在 PLC 的内部存储器中有一个用来存储输入/输出信号的存储区, 称为输入/输出暂存器, I/O 暂存器有很多存储单元 (位), 某个单元所存的内容和 PLC 的某个输入/输出端的状态相



对应。输入部分用于反映控制现场的输入信号，称为输入继电器；输出部分用于反映 PLC 的输出信号，称为输出继电器。存储区中每位的内容为动合触点的状态，对于动断触点 PLC 是将其相应位的状态取反而获得。这些继电器的触点可以在 PLC 的程序中多次引用，其次数不受限制。

输入继电器用 X 表示，其特点是：状态由 PLC 外部的控制现场信号驱动（由外部输入器件接入的信号），不受 PLC 程序的控制，编程时使用次数不限。

输出继电器用 Y 表示，它是 PLC 向外部负载传递控制信号的器件，其特点是：由 PLC 的程序控制；每一个输出继电器的动合、动断触点在编程时都可以无限次数的使用；一个输出继电器对应于输出单元上外接的一个物理继电器或其他执行元件。PLC 的每一个 I/O 继电器都对应有其外部的接线端口，I/O 继电器的数目也称 I/O 点数。

FX 系列 PLC 的 I/O 继电器均采用八进制的地址编号。FX2N 系列 PLC 的 I/O 地址为：X000~X007、X010~X017、X020~X027、X030~X037……以及 Y000~Y007、Y010~Y017、Y020~Y027……。

2. 辅助继电器 M

PLC 内部有许多辅助继电器 M，它有若干对动合触点和动断触点。辅助继电器和继电器控制系统中的中间继电器作用相似，用于逻辑运算中的辅助运算，如状态暂存、移位等运算，仅供中间转换环节使用。辅助继电器不能直接驱动外部负载，要驱动外部负载必须通过输出继电器。辅助继电器包括通用辅助继电器和保持辅助继电器两种。

（1）通用辅助继电器。通用辅助继电器的编号为 M0~M499，共 500 点（在 FX 系列 PLC 中除了输入/输出继电器外，其他所有的器件都是按十进制数编号的）。

（2）保持辅助继电器。保持辅助继电器的编号为 M500~M1023，共 524 点。保持辅助继电器由后备锂电池供电，所以在电源断电时能够保持它们原来的状态不变。掉电保持继电器也可以用参数设置的方法改为非掉电保持功能。

（3）掉电保持专用的辅助继电器。掉电保持专用的辅助继电器是指具有专门功能的一些辅助继电器。专用辅助继电器有 M1024~M3071，共 2 048 点。

（4）特殊辅助继电器 M8000~M8255。这些特殊辅助继电器具有特定的功能，为用户编程提供方便。根据性质的不同，可将它分为只读式特殊辅助继电器和读/写式特殊辅助继电器两大类。对于只读式特殊辅助继电器，用户可以直接在程序中使用其触点，不用驱动其线圈。而读/写式特殊辅助继电器用户必须驱动其线圈，才可以在程序中使用其触点。特殊辅助继电器的类型由厂家提供的技术说明书确定。下面介绍几种特殊辅助继电器。

① 运行监控继电器 M8000。当 PLC 运行时，M8000 自动处于接通状态，当 PLC 停止运行时，M8000 处于断开状态，因此可以利用 M8000 的触点经输出继电器 Y 在外部显示程序是否运行，起到 PLC 运行监视的作用。M8000 为动合触点，M8001 同样是运行监视继电器，但 M8001 为动断触点。

② 初始化脉冲继电器 M8002（动合触点）。当 PLC 一开始运行时，M8002 就接通，自动发出宽度为一个扫描周期的单窄脉冲信号。M8002 常用做计数器、保持继电器等的初始化信号。M8003 为动断触点的初始化脉冲继电器。

③ 100ms 时钟脉冲发生器 M8012（M8011 为 10ms、M8013 为 1s 时钟发生器）。



④ 寄存器数据保持停止继电器 M8033。

⑤ 禁止全部输出继电器 M8034。在执行程序时，一旦 M8034 接通，则所有输出继电器的输出自动断开，使 PLC 没有输出，但这并不影响 PLC 内部程序的执行。M8034 常用于控制系统发生故障时切断输出，而保留 PLC 内部程序的正常执行，使用 M8034 有助于系统故障的检查和排除。

以上特殊辅助继电器的动合、动断触点在 PLC 编程时都可以无限次的使用，未被定义的辅助继电器不能使用。

3. 状态器S

状态器是使用步进指令的基本元件，它与步进梯形图指令配合使用。常用的状态器有下面几种类型。

(1) S0~S499 为通用状态继电器，共 500 点，其中 S0~S9 用于初始状态，S10~S19 用于回零位状态；

(2) S500~S899 为失电保护状态继电器，共 400 点；

(3) S900~S999 为报警用状态继电器，共 100 点。

步状态器的触点使用次数不限。不用步进指令时，状态器 S 可以像辅助继电器 M 一样在程序中使用。

4. 定时器T

定时器相当于继电器控制中的时间继电器，它能提供若干个动合、常闭延时触点，供用户编程使用。定时器的工作时间通过编程设定。定时器有一个设定值寄存器（一个字长）、一个当前值寄存器（一个字长）以及若干个触点（位）。一个定时器的这 3 个量用同一地址表示，但使用的场合不一样，其所指也不同。例如符号 T0 可以表示 0 号定时器的动合、动断触点及线圈等。

定时器累计 PLC 内部的 1ms、10ms、100ms 时钟脉冲，当达到设定值时，定时器的输出触点动作。定时器可以直接在用户程序中设定时间常数，也可以利用数据寄存器 D 中的数据作为时间常数。

(1) 普通定时器 T0~T245 (246 点)。其中，100ms 的定时器为 T0~T199 (200 点)，每个设定值的范围为 0.1~3 276.7s；10ms 定时器为 T200~T245 (46 点)，设定值范围为 0.01~327.67s。

(2) 积算定时器 T246~T255 (10 点)。其中，1ms 积算定时器为 T246~T249 (4 点)，每个设定值的范围为 0.001~32.767s；100ms 积算定时器为 T250~T255 (6 点)，每个设定值的范围为 0.1~3 276.7s。

5. 计数器C

计数器主要用来记录脉冲的个数或根据脉冲个数设定某一时间，计数值通过编程来设定。计数器根据 PLC 的字长度分为 16 位和 32 位计数器；按计数信号频率的不同分为通用计数器和高速计数器。由于计数器具有加减计数功能，所以又分为递增或递减计数器。

16 位加计数器是在执行扫描操作时对内部器件 (X、Y、S、M、C 等) 的信号进行加计



数的计数器，因此其接通时间和断开时间应比 PLC 扫描的周期稍长，通常其输入信号频率大约为几个扫描周期。

(1) 16 位加计数器。其设定值为 1~32 767，地址为 C0~C199，其中 C0~C99 是普通型的，C100~C199 是失电保护型的。

(2) 32 位双向计数器。其设定值为-2 147 483 648~2 147 483 647，其中 C200~C219 是通用型，C220~C234（共 15 点）为失电保护型。计数器的加减功能由内部辅助继电器 M8200~M8234 设定，特殊辅助继电器闭合（置 1）时为递减计数，断开时为递加计数。两相输入计数器的两相输入是 A 和 B 信号，它们决定于计数器是加计数器还是减计数器。

(3) 高速计数器。高速计数器的地址为 C235~C255（共 21 点），这 21 个计数器均为 32 位加/减计数器。

6. 常数计数器（K/H）

常数计数器也作为器件对待，它在存储器中占有一定的空间。十进制常数用 K 表示，如十进制数 118，表示为 K118；十六进制常数用 H 表示，如十六进制数 118，表示为 H118。

7. 数据寄存器D

在进行输入/输出处理、模拟量控制、位置控制时，需要许多数据寄存器存储数据和参数。数据寄存器为 16 位，最高位为符号位，可采用两个数据寄存器合并起来存放 32 位数据，最高位仍为符号位。数据寄存器分为下面几类。

(1) 普通数据寄存器 D0~D199，共 200 点。当 PLC 由运行到停止时，该类数据寄存器的内容均为零，当驱动特殊辅助继电器 M8031 后，在 PLC 由运行变为停止时，D0~D199 数据寄存器具有保持功能。

(2) 失电保持数据寄存器 D200~D511，共 312 点。只要不改写，该寄存器中的原有数据就不会丢失。不论电源接通与否、PLC 运行与否，都不会改变该寄存器内的内容。

(3) 特殊数据寄存器 D8000~D8255，共 256 点。这些数据寄存器供监视 PLC 的器件运行方式用，未定义的特殊数据寄存器用户不能使用。

(4) 文件数据寄存器 D1000~D7999，共 7 000 点。文件寄存器实际上是一类专用数据寄存器，用于存储大量的数据，例如采样数据、统计计算数据、多组控制数据等。文件数据寄存器占用户程序存储器（RAM、EPROM、EEPROM）内的一个存储区，以 500 点为一个单位，在参数设定时，最多可设置 7 000 点，用编程器进行写操作。

8. 变址寄存器V/Z（V0~V7，Z0~Z7）

变址寄存器通常用于修改器件的地址编号。V 和 Z 都是 16 位的寄存器，可进行数据的读/写操作，当进行 32 位操作时，将 V、Z 合并使用，指定 Z 为低位。

9. 指针P/I

P（P0~P63，共 64 点）为跳转指令的指针，指针 P0~P63 作为标号，用来指定条件跳转、子程序调用等目标。I 为中断指令的指针，共 9 点。

表 2.5 为 FX 系列 PLC 的内部系统配置。



表 2.5 FX 系列 PLC 的内部系统配置

项 目		规 格	备 注
运转控制方式		通过存储的程序周期运转	
I/O 控制方式		批处理方法（执行 END 指令时）	I/O 指令可以刷新
运转处理时间		基本指令：0.08μs/指令；功能指令：1.52~几百μs/指令	
编程语言		逻辑梯形图和指令语句	使用步进梯形图能生成 SFC 类型程序
容量		8 000 步内置	使用附加寄存器盒可扩展到 16 000 步
指令数目		基本指令：27 步进指令：2 功能指令：128	最大可用 298 条功能指令
I/O 配置		最大硬件 I/O 配置点 256，依赖于用户的选择（最大软件可设定地址输入 256、输出 256）	
辅助 继电器(M)	一般	500 点	M0~M499
	锁定	2 572 点	M500~M3071
	特殊	256 点	M8000~M8255
状态 继电器 (S)	一般	500 点	S0~S499
	锁定	400 点	S500~S899
	初始	10 点	S0~S9
	信号报警	100 点	S900~S999
定时 器 (T)	100ms	0~3 276.7s （200 点）	T0~T199
	10ms	0~327.67s （46 点）	T200~T245
	1ms 保持型	0~32.767s （4 点）	T246~T249
	100ms 保持型	0~3 276.7s （6 点）	T250~T255
计数 器 (C)	一般 16 位	0~32 767 数 200 点	C0~C199，16 位上计数器
	锁定 16 位	100 点（子程序）	C100~C199，16 位上计数器
	一般 32 位	-2 147 483 648~+2 147 483 647 35 点	C200~C219，32 位上/下计数器
	锁定 32 位	15 点	C220~C234，16 位上/下计数器
高速 计数 器 (C)	单相	-2 147 483 648~+2 147 483 647 点； 一般规则：选择计数频率不大于 20kHz 的 计数器组合； 所有的计数器锁存	C235~C240，6 点
	单相 c/w 起始、 停止输入		C241~C245，5 点
	双相		C246~C250，5 点
	A/B 相		C251~C255，5 点
数据 寄存 器 (D)	一般	200 点	D0~D199； 32 位元件的 16 位数据存储寄存器对
	锁存	7 800 点	D200~D7999； 32 位元件的 16 位数据存储寄存器对
	文件寄存器	7 000 点	D1000~D7999； 16 位数据存储寄存器
	特殊	256 点	D8000~D8255； 16 位数据存储寄存器
	变址	16 点	V0~V7 以及 Z0~Z7； 16 位数据存储寄存器



续表

项 目		规 格	备 注
指针 (P)	用于 CALL	128 点	P0~P127
	用于中断	6 输入点、3 定时器、6 计数器	100*~150*和 16**~18**（上升沿触发*=1，下降沿触发*=0，**=时间，单位：ms）
嵌套层次		用于 MC~MCR 时为 8 点	N0~N7
常数	十进制 K	16 位：-32 768~+32 768；32 位：-2 147 483 648~+2 147 483 647	
	十六进制 H	16 位：0000~FFFF；32 位：00000000~FFFFFFFF	
	浮点	32 位：±1.175×10 ³⁶ 、±3.403×10 ³⁶ （不能直接输入）	

2.2 FX系列PLC的基本指令及编程方法

本节以梯形图及指令语句表的形式，介绍 FX2N 系列可编程序控制器的基本指令及编程方法。基本指令包括：取、取反、与、或、块或、块指令及定时器和计数器指令等。

2.2.1 逻辑取指令和线圈驱动指令LD、LDI、OUT

（1）取指令 LD（Load）、取反指令 LDI（Load Inverse）：通常用于将动合、动断触点与主母线连接，同时也与后面叙述的 ANB 指令组合在分支起点处使用。

（2）线圈的驱动指令 OUT（Out）：用于驱动输出继电器、辅助继电器、状态器、定时器、计数器，不能对输入继电器使用。

上述 3 条指令的使用如图 2.1 所示。

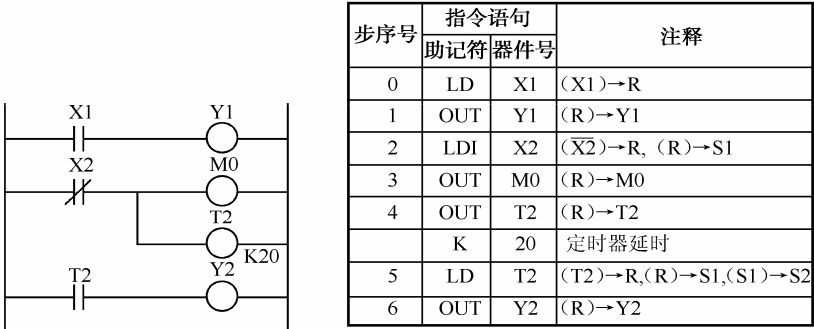


图 2.1 LD、LDI、OUT 指令的使用

2.2.2 触点串联指令AND、ANI

与指令 AND（And）、与非指令 ANI（And Inverse）为动合、动断触点的串联指令。在使用时应注意以下几点。

（1）AND、ANI 指令是用于串联一个触点的指令，串联触点的数量不限，即可以多次使



（由 ON 到 OFF 时）接通，接通时间为一个扫描周期。

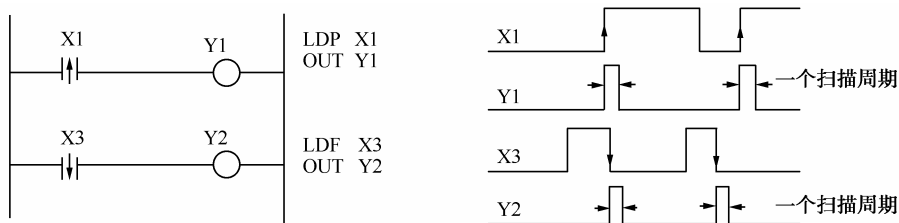


图 2.5 LDP、LDF 指令的使用

2.2.5 上升沿和下降沿的与指令ANDP、ANDF

ANDP 为在上升沿进行与逻辑操作的指令，ANDF 为在下降沿进行与逻辑操作的指令。

ANDF、ANDP 指令的使用如图 2.6 所示。使用 ANDP 指令编程，使输出继电器 Y1 在辅助继电器 M1 闭合后，且在 X1 的上升沿（由 OFF 到 ON）时仅接通一个扫描周期；使用 ANDF 指令，使 Y2 在 X2 闭合后，且在 X3 的下降沿（由 ON 到 OFF）时仅接通一个扫描周期。即 ANDP、ANDF 与指令仅在上升沿和下降沿进行一个扫描周期的与逻辑运算。

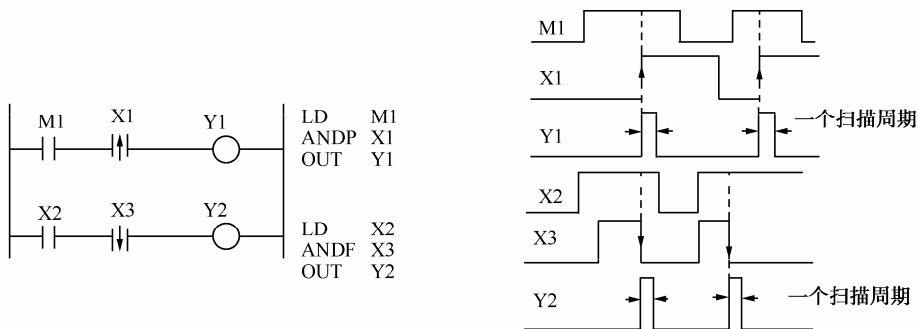


图 2.6 ANDF、ANDP 指令的使用

2.2.6 上升沿和下降沿的或指令ORP、ORF

ORP 为上升沿的或逻辑操作指令，ORF 为下降沿的或逻辑操作指令。

ORP、ORF 指令的使用如图 2.7 所示。使用 ORP 指令，辅助继电器 M0 仅在 X0、X1 的上升沿（由 OFF 到 ON）时刻接通一个扫描周期；使用 ORF 指令，Y0 仅在 X4、X5 的下降沿（由 ON 到 OFF）时刻接通一个扫描周期。

2.2.7 电路块并联连接指令ORB

ORB（Or Block）是块或指令，用于电路块的并联连接。

两个或两个以上的触点串联连接的电路称为“串联电路块”，当并联连接“串联电路块”



时，在支路起点要用 LD、LDI 指令，而在该支路终点要用 ORB 指令。ORB 指令无操作目标元件。

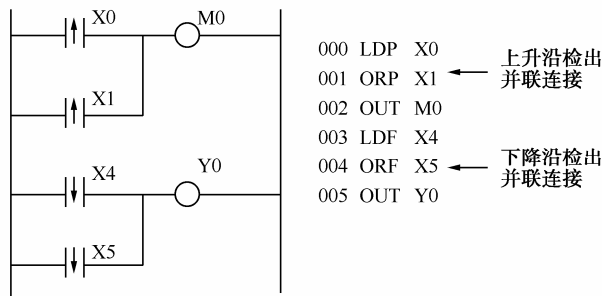


图 2.7 ORP、ORF 指令的使用

在使用时有两种使用方法，一种是在要并联的两个块电路后面加 ORB 指令，即分散使用 ORB 指令，其并联电路块的个数没有限制，如图 2.8（a）所示；另一种是集中使用 ORB 指令，如图 2.8（b）所示，集中使用 ORB 的次数不允许超过 8 次。所以，不推荐集中使用 ORB 指令的这种编程方法。

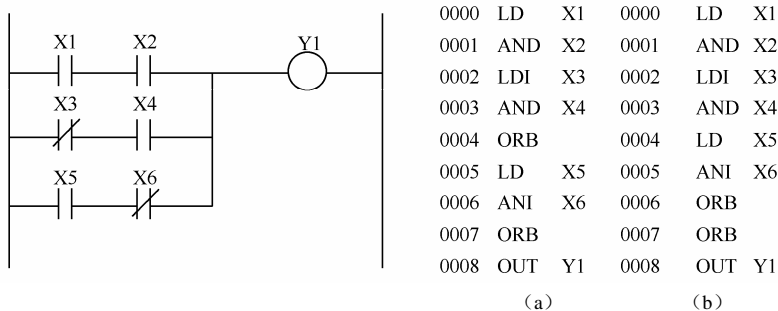


图 2.8 ORB 使用说明

2.2.8 电路块串联连接指令ANB

ANB（And Block）为块与指令，用于电路块的串联连接。

两个或两个以上的触点并联连接的电路称为“并联电路块”，将“并联电路块”与前面电路串联连接时，梯形图分支的起点用 LD 或 LDI 指令，在并联电路块结束后使用 ANB 指令。ANB 无操作目标元件。ANB 指令和 ORB 指令同样有两种用法，不推荐集中使用的方法。

ANB 指令的使用如图 2.9（a）所示，对于图（b）所示的梯形图编程，应采用图（c）的形式编程，这样可以简化程序。

2.2.9 栈指令MPS、MRD、MPP

MPS 为进栈指令，将状态读入栈寄存器；MRD 为读栈指令，读出用 MPS 指令记忆的状态。



态；MPP 为出栈（读并清除）指令，读出用 MPS 指令记忆的状态并清除这些状态。

栈指令用于梯形图的多路输出，所完成的操作功能是将多路输出连接点的状态先存储，以便于后面多路输出的编程。

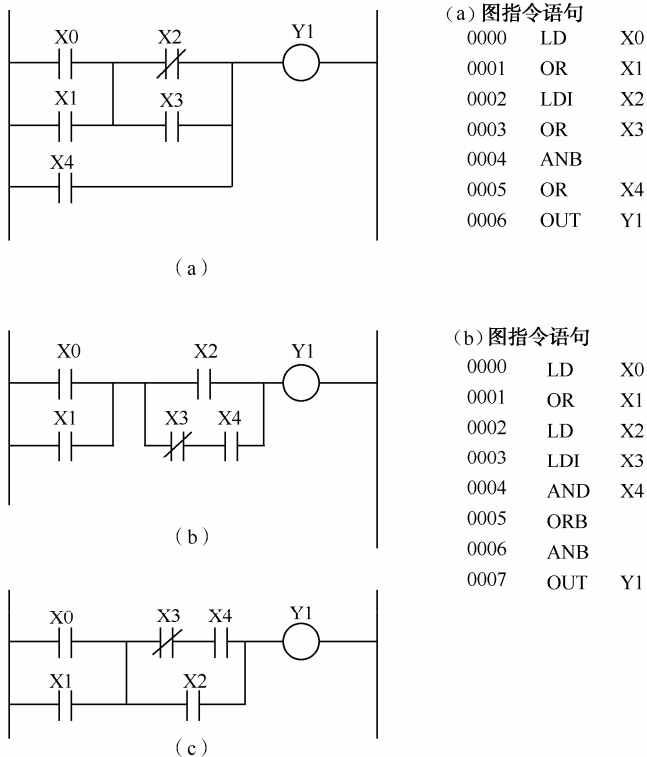


图 2.9 ANB 使用说明

FX 系列的 PLC 中有 11 个存储中间结果的存储区域称为栈存储器。使用进栈指令 MPS 时，当时的运算结果压入栈的第一层存储，栈中原来的数据依次向下一层推移；使用出栈指令 MPP 时，各层的数据依次向上移动一次将最上层的数据读出后，此数据就从栈中消失；MPD 是最上层所存数据的读出专用指令，读出时，栈内数据不会发生移动。

在使用中应注意以下几点：

- (1) 这 3 条指令均无操作目标元件。
 - (2) MPS、MPP 指令必须成对使用，而且连续使用应少于 11 次。
- MPS、MRD、MPP 指令的使用如图 2.10、图 2.11 和图 2.12 所示。

2.2.10 主控指令 MC、MCR

MC (Master Control) 为主控指令，用于公共串联触点的连接指令；MCR (Master Control Reset) 为主控复位指令，即 MC 指令的复位指令。

主控指令所完成的操作功能是：当某一触点（或一组触点）的条件满足时，按正常顺序执行；当这一条件不满足时，则不执行某部分程序，与这部分程序相关的继电器状态全为零。



在编程时，经常遇到多个线圈同时受一个或一组触点控制的情况，如果在每个线圈的控制电路中都编入该逻辑条件，则必然使程序变长，对于这种情况，可以采用主控指令来解决。主控指令利用在母线中串接一个主控触点来实现控制，其作用如控制一组电路的总开关。MC、MCR 指令的使用说明如图 2.13 所示，MC 指令占 3 个程序步，MCR 指令占 2 个程序步。

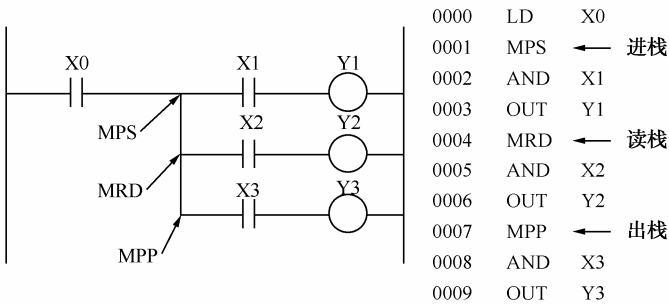
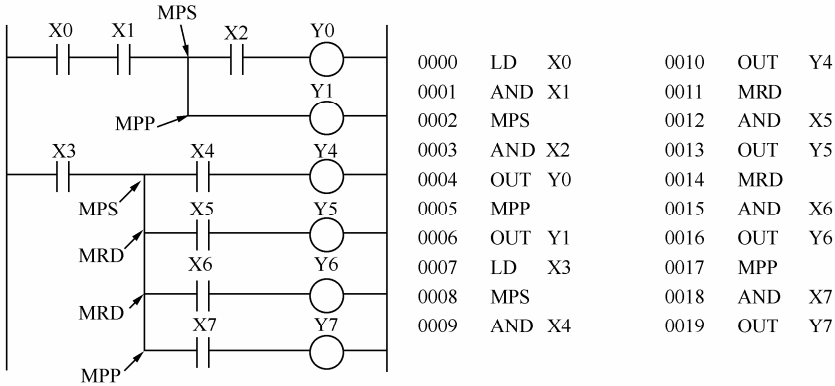
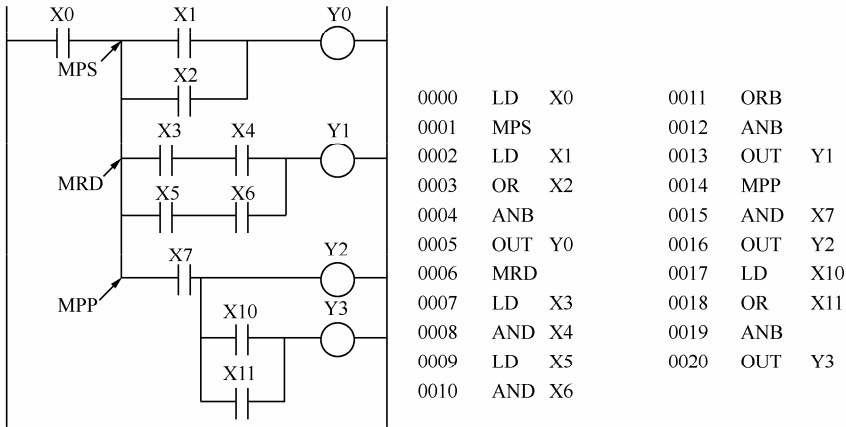


图 2.10 栈指令的使用



(a)



(b)

图 2.11 栈指令使用之一

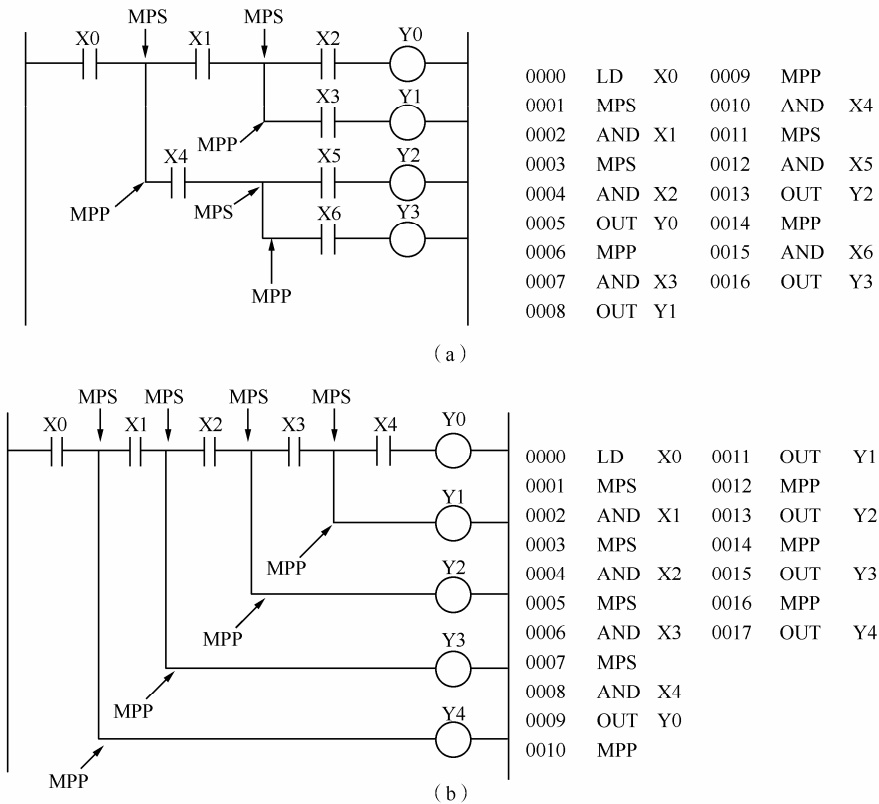


图 2.12 栈指令使用之二

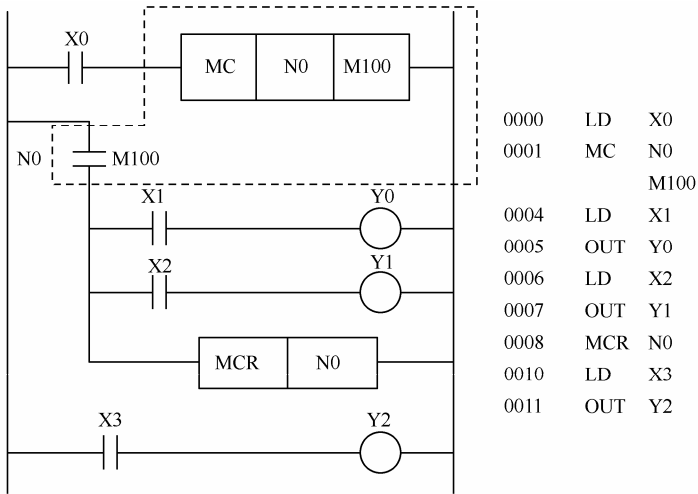


图 2.13 MC、MCR 指令使用之一

MC、MCR 两条指令的操作目标元件是 Y、M，但不允许使用特殊的辅助继电器。

图 2.13 中 X0 为 N0 号主控指令的执行条件，当 X0 为 ON 时，执行 MC 与 MCR 之间的指令；当 X0 为 OFF 时，不执行 MC 与 MCR 之间的指令。



在使用时应注意以下几点：

(1) 与主控触点相连接的触点用 LD、LDI 指令。

(2) 编程时对于主控触点不输入指令，如图 2.13 中的“N0 M100”，它仅是主控指令的标记。

(3) 主控指令允许嵌套使用，嵌套级 N 的编号（0~7）顺次增大，返回时使用 MCR 指令，从大的嵌套级开始解除，如图 2.14 所示。

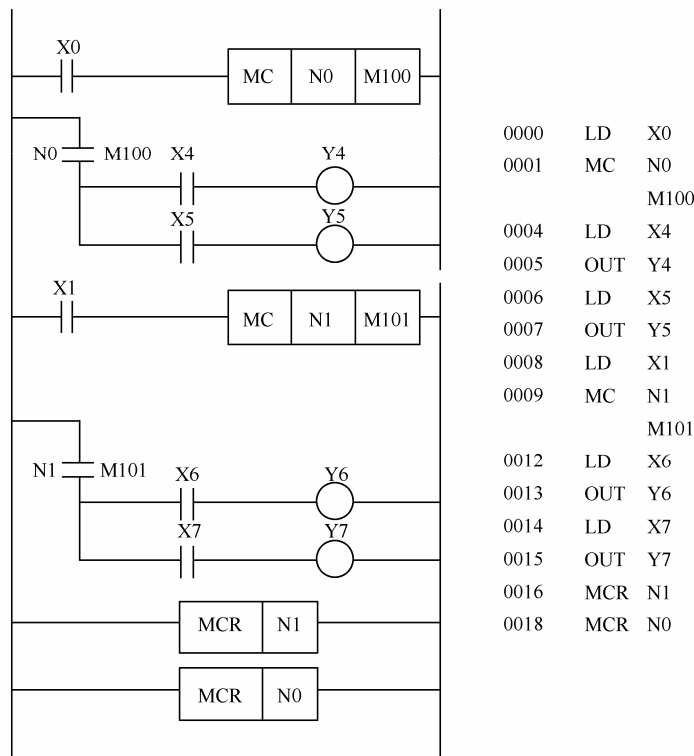


图 2.14 MC、MCR 指令使用之二

2.2.11 逻辑取反指令INV

INV 取反指令用于将运算结果取反。当执行到该指令时，将 INV 指令之前的运算结果（如 LD、LDI 等）变为相反的状态，即由原来的 OFF 到 ON 变为由 ON 到 OFF 的状态。INV 指令的使用如图 2.15 所示，图中用 INV 指令实现将 X1 的状态取反后驱动 Y0，在 X1 为 OFF 时 Y0 得电，在 X1 为 ON 时 Y0 失电。

在使用中应注意以下几点：

(1) 该指令是一个无操作数的指令。

(2) 该指令不能直接和主母线相连接，也不能像 OR、ORI 等指令那样单独使用。

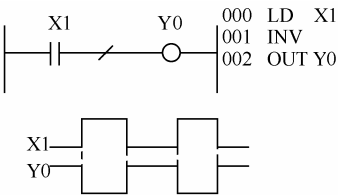


图 2.15 INV 指令的使用



2.2.12 置位和复位指令SET、RST

置位指令 SET (Set) 为操作保持指令；复位指令 RST (Reset) 为操作复位指令。

SET、RST 指令的使用如图 2.16 所示，图中的 X0 为 ON，Y0 得电处于保持的状态，即使 X0 再断开对 Y0 也无影响，Y0 得电的状态一直保持到复位信号 RST 到来。

SET 指令的目标元件是 Y、M、S，RST 指令的目标元件是 Y、M、S、D、V、Z、T、C。这两条指令占 1~3 个程序步。RST 指令也用于定时器、计数器的复位，以及数据寄存器、变址寄存器的内容清零。

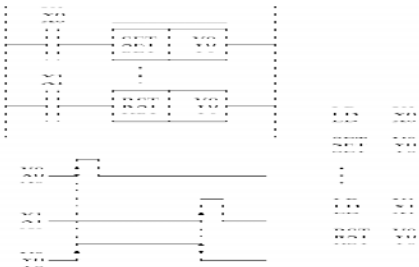


图 2.16 SET、RST 指令的使用

2.2.13 定时器和计数器指令

1. 定时器

(1) 普通定时器。普通定时器的使用如图 2.17 所示。X0 为定时器 T200 的执行条件，当 X0 为 ON 时，定时器开始延时，由当前值 0 开始直至设定时间 1.23s (T200 的时基信号是 10ms) 时，定时器的触点动作（动合触点闭合、动断触点断开），与此同时输出继电器 Y0 得电。当输入信号 X0 变为 OFF 时，定时器线圈立即断电，当前值变为 0，同时定时器的触点立即复位（动合触点断开、动断触点闭合）。

(2) 积算定时器。积算定时器的使用如图 2.18 所示。输入信号 X1 为定时器 T250 的驱动信号。当 X1 为 ON 时，定时器 T250 得电开始延时，当延时时间到，定时器的触点动作。

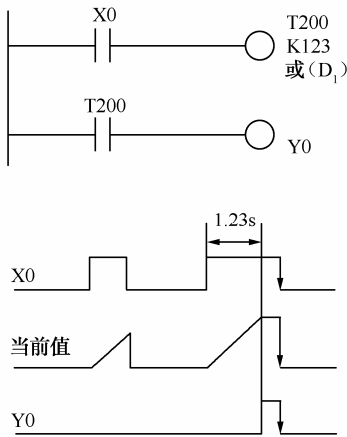


图 2.17 普通定时器的使用

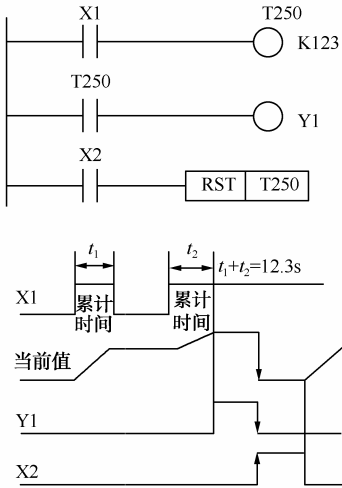


图 2.18 积算定时器的使用



和普通定时器所不同的是，积算定时器具有断电记忆以及复电继续工作的特点。若在延时时间内出现 X1 断开或断电时，定时器的当前值可以保留，当输入信号 X1 又接通或复电时，定时器会在此基础上继续进行延时工作。

2. 计数器

(1) 递加计数器。图 2.19 所示为递加计数器的动作时序图，图中 X1 为计数器的计数输入信号，每当 X1 动作（由 OFF 到 ON）一次，计数器的当前值就加 1。当计数器的当前值变为 5（设定值）时，计数器 C0 的触点动作（动合触点闭合、动断触点断开），之后即使 X1 再接通动作，计数器也不动作。当复位信号 X0 到来时，计数器复位（执行 RST 指令），即计数器的当前值复位为 0，计数器的触点也立即复位（动合触点断开、动断触点闭合）。计数器和定时器一样，其设定值可以直接设定，也可以间接通过指定数据寄存器来设定。计数器用 RST 指令时，可以采用如图 2.19（a）中所示的直接给计数器设定计数常数的方法，也可以采用通过数据寄存器（D）来间接设定计数常数的方法，如图 2.19（b）所示。递加计数器的工作时序图如图 2.19（c）所示。

计数器使用注意：计数器的复位信号和计数信号同时到来时，复位信号优先。计数未计到设定值时，复位信号到来，计数器立即复位。

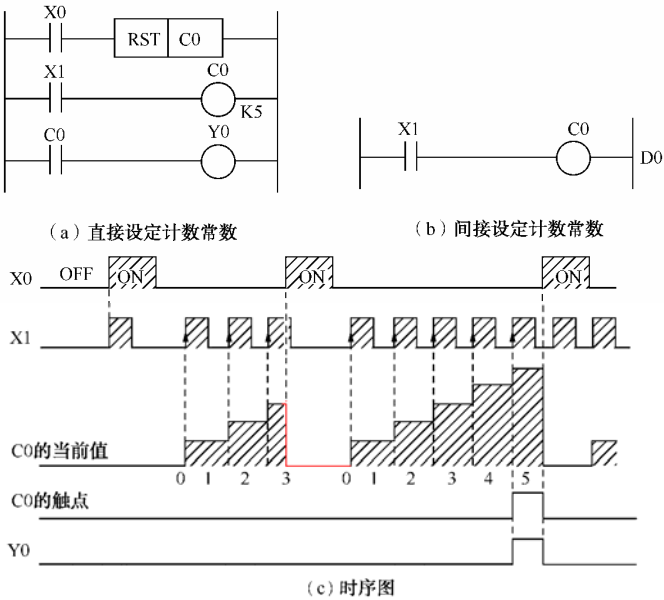


图 2.19 递加计数器的动作时序图

(2) 加减计数器。加减计数器的示意图如图 2.20 所示。可以看出加减计数器有 3 个信号控制端：计数脉冲输入信号 X14、计数复位信号 X13 和计数方向控制信号 M8200。当 X12 为 OFF 时，计数器为加计数操作；当 X12 为 ON 时，计数器为减计数操作。当计数器的当前值大于或等于设定值时，计数器线圈得电，其动合触点闭合（如图 2.20 中所示由-4 到-3 时）；而当当前值小于设定值时，其动合触点复位断开（如图 2.20 中所示由-3 到-4 时）。当 X13 为 ON 时，无论计数器的当前值为多少，都将执行 RST 复位指令，使计数器的当前值复位



为 0，同时计数器的触点也复位（动合触点断开）。

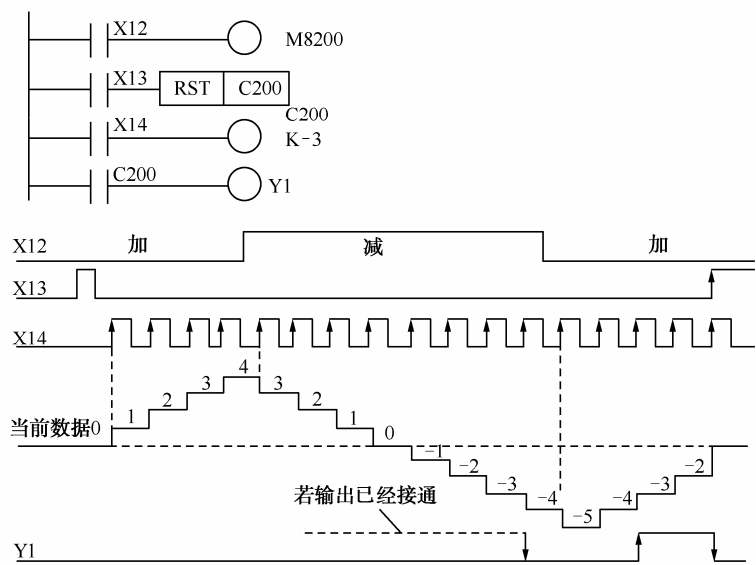


图 2.20 加减计数器的示意图

2.2.14 脉冲指令PLS、PLF

脉冲上微分指令 PLS（Pulse Up）用于在输入信号的上升沿产生脉冲输出，脉冲下微分指令 PLF（Pulse Off）用于在输入信号的下降沿产生脉冲输出。

这两条指令都占两个程序步，它们的目标元件是 Y 和 M，但特殊辅助继电器不能作为目标元件。PLS、PLF 指令和 SET 及 RST 指令的配合使用如图 2.21 所示。

使用 PLS 指令时，元件 Y、M 仅在驱动输入触点闭合的一个扫描周期内动作（置 1），而使用 PLF 指令时，元件 Y、M 仅在驱动输入触点断开后的一个扫描周期内动作。

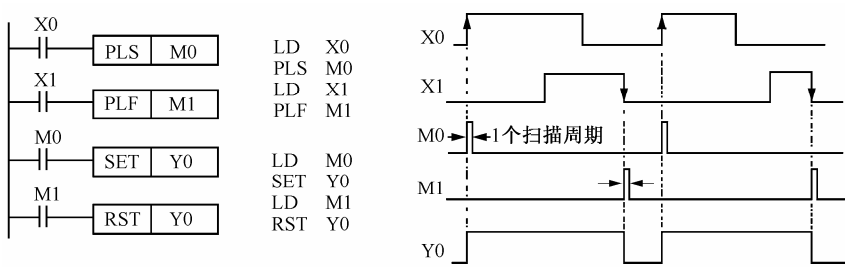


图 2.21 PLS、PLF 指令的使用

2.2.15 空操作指令NOP

NOP（No Operation）为空操作指令。

NOP 是一条无动作、无目标元件的程序步，它有两个作用：一是在执行程序全部清除后，



用 NOP 显示；二是用于修改程序，利用在程序中插入 NOP 指令，修改程序时可以使程序步序号的变化减少。

2.2.16 程序结束指令END

END 为程序结束指令。

END 是一个与元件目标无关的指令。PLC 的工作方式为循环扫描方式，即开机执行程序均由第一句指令语句（步序号为 000）开始执行，一直执行到最后一条语句 END，依次循环执行，END 后面的指令无效（即 PLC 不执行）。所以利用在程序的适当位置上插入 END，可以方便地进行程序的分段调试。

2.3 FX系列PLC的编程基本原则

2.3.1 梯形图的规则

梯形图是按照从上到下、从左到右的顺序设计，它以一个线圈的结束为一个逻辑行，也称为一个梯级。每一逻辑行的起点是左母线（主母线），接着是触点的连接，最后以线圈结束于右母线。在画图时允许省略右母线。梯形图的规则如下：

（1）触点和线圈的常规位置。梯形图的左母线与线圈间一定要有触点，而线圈与右母线间不能有任何触点，常规下触点只能在水平线上，不能画在垂直分支上，如图 2.22 所示。

（2）程序简洁化方法。在并联连接支路时，应将有多触点的并联支路放在上方，如图 2.23 所示。

（3）避免使用双线圈。在一般逻辑指令的程序中避免使用双线圈。同一编号的线圈如果使用两次称为双线圈，双线圈输出容易引起误操作。

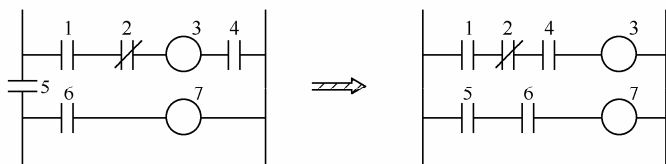


图 2.22 梯形图的设计规则说明之一

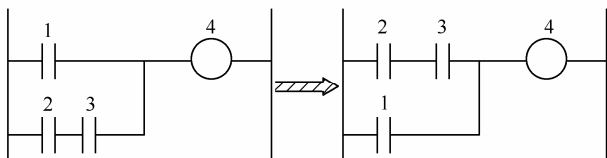


图 2.23 梯形图的设计规则说明之二

（4）桥式电路的编程。桥式电路不能直接编程，必须画相应的等效梯形图，如图 2.24



所示。

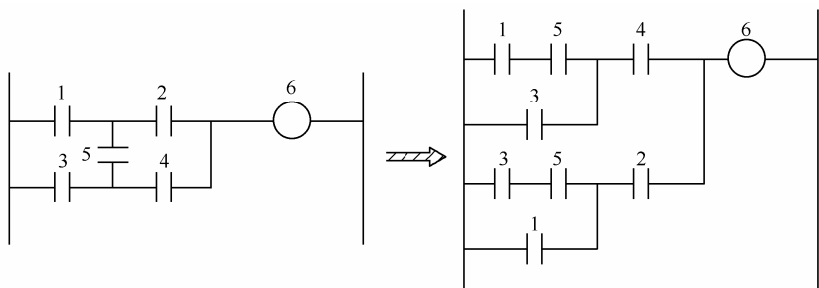
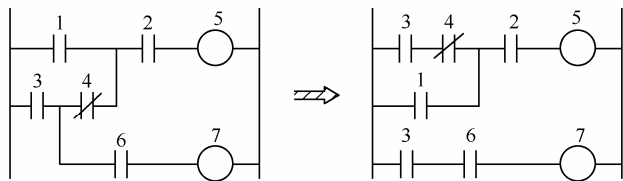
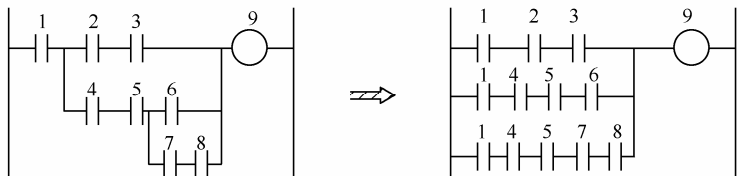


图 2.24 桥式电路的处理

(5) 复杂逻辑功能的处理。如果逻辑功能复杂，用 **ANB**、**ORB** 等难以处理，可以重复使用一些触点改画出等效梯形图，再进行编程，如图 2.25 所示。



(a)



(b)

图 2.25 复杂逻辑功能的处理

2.3.2 PLC执行用户程序的过程分析

PLC 是以循环扫描的方式执行程序的，如果不考虑每个扫描周期中其他的工作阶段，只考虑对用户程序的执行过程、模拟实际系统中出现的输入信号顺序，以及 **I/O** 暂存器和梯形图中的逻辑关系，对用户程序的执行进行分析，可得到 **I/O** 暂存器中各个输出点在不同扫描周期内的状态变化情况。此方法可用于对所编程序的控制顺序进行分析和检验，称为用户程序的 **I/O** 状态分析法。这种分析方法如图 2.26 所示。

在图 2.26 中，将每一个周期中的输入状态和上一个周期中的输出状态作为已知条件，并将这些已知条件带入到梯形图各个梯级的逻辑表达式中进行运算，便可以得到本周期的各个输出状态，依次分析下去，最后可以得到 4 个周期的输出状态。把各个周期的输入、输出状态列出表格，可清楚地看到每个周期的输入/输出状态。



在分析时要注意，首先要将每个周期中输入信号的状态填入表内，并作为输入条件代入第一个梯级进行逻辑运算，运算后得到的输出，立即填入表内给第二个梯级的运算提供相应触点的状态，即上一个梯级的运算结果马上就被下一个梯级使用。

对图 2.26 中所示的梯形图采用 I/O 状态分析法，其结果如图 2.26 中的 I/O 状态表所示。

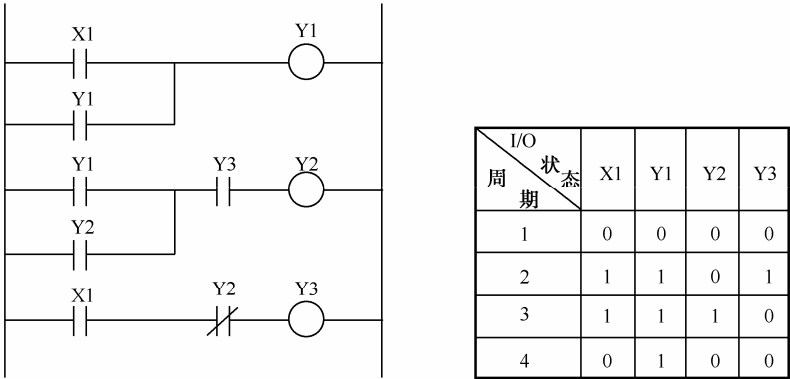


图 2.26 用户程序的 I/O 状态分析法

习题 2

2.1 试分析图 2.27 所示的梯形图，画出便于编程的梯形图并写出相应的指令语句。

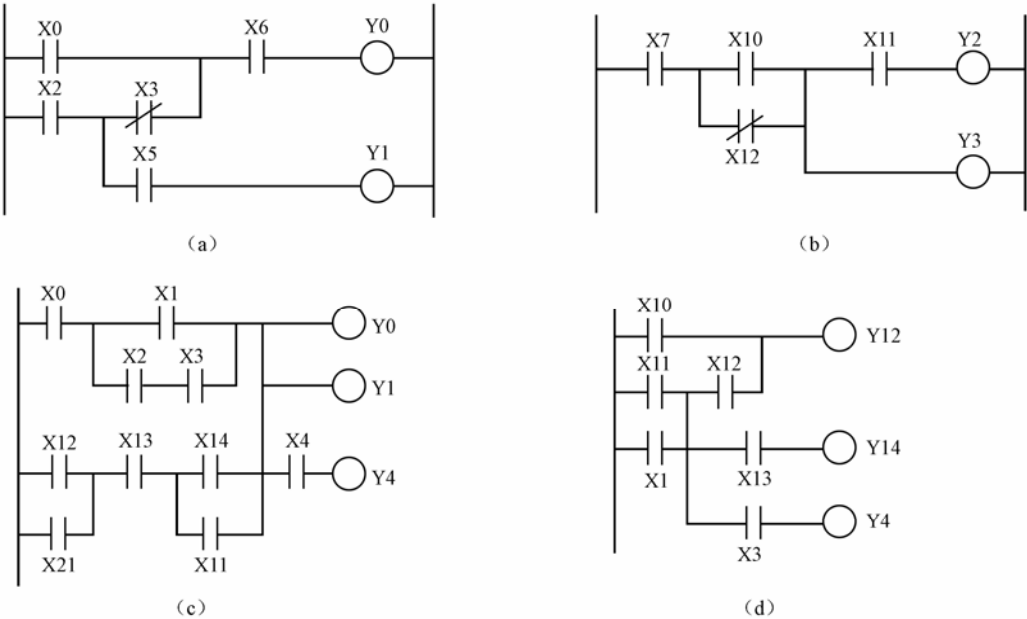


图 2.27 题 2.1 梯形图



2.2 由下列所示的指令语句画出对应的梯形图。

- (1)

00 LD X0

01 OR X1

02 LD X2

03 AND X3

04 LDI X4

05 AND X5

06 ORB

07 OR X6

08 ANB

09 OR X3

10 AND X7

11 OUT Y7
- (2)

00 LD X0

01 OR X1

02 LD X2

03 ANI X3

04 LD X4

05 AND X5

06 ORB

07 ANB

08 OR M0

09 AND X7

10 OUT Y2

2.3 采用 I/O 状态表分析法分析图 2.28 所示的梯形图，假定在第 1 个扫描周期 X1 和 X2 均为 OFF；在第 2 个周期 X1=ON、X2=OFF；在第 3 个周期 X1=OFF、X2=ON；在第 4 个周期 X1 和 X2 均为 ON；在第 5 个周期 X1 和 X2 均为 OFF。分析 PLC 输出变化的情况并将其填入表格。

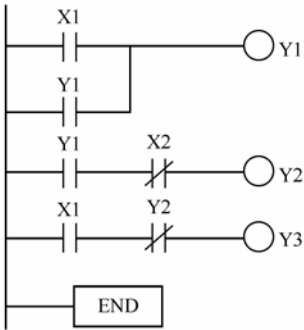


图 2.28 题 2.3 图

可编程控制器的程序设计

本章要点

1. 梯形图的经验设计方法。
2. 功能图设计程序的方法。
3. 步进指令的应用。
4. 顺序控制梯形图的编程方法。

PLC 的程序设计是采用编程语言描述控制任务的过程。PLC 程序设计常采用的方法有经验设计方法和顺序功能图法。本章讲述采用经验设计方法和顺序功能图法设计 PLC 的控制程序。

3.1 梯形图的经验设计方法

经验设计方法实际上是延续了传统的继电器电气原理图的设计方法，即在一些典型控制单元电路的基础上，根据受控对象对控制系统的具体要求，采用许多辅助继电器来完成记忆、联锁、互锁等功能。用这种设计方法设计的程序，要经过反复的修改和完善才能符合要求。此设计方法没有规律可以遵循，具有很大试探性和随意性，程序的调试时间长，编出的程序因人而异，不规范，会给使用和维护带来不便，尤其将对控制系统的改进带来很多的困难。经验设计方法一般仅适用于简单的梯形图设计，且要求设计者具有丰富的设计经验，要熟悉许多基本的控制单元和控制系统的实例。

经验设计方法设计控制程序的步骤如下：

- (1) 了解受控设备及工艺过程，分析控制系统的要求，选择控制方案；
- (2) 根据受控系统的工艺要求，确定主令元件、检测元件及辅助继电器等；
- (3) 利用输入信号设计起动、停止和自保功能；
- (4) 使用辅助元件、定时器和计数器；
- (5) 使用功能指令；
- (6) 加入互锁条件和保护条件；
- (7) 检查、修改和完善程序。

功能图设计程序的方法（顺序控制设计法）仅适用于顺序控制系统。顺序控制功能图设



计程序的方法易被初学者接受，设计的程序规范、直观，易阅读，也便于修改和调试。FX 系列 PLC 专为功能图程序设计设置了步控指令编程，使功能图设计程序的方法更加简便。

3.2 常用基本单元电路的编程举例

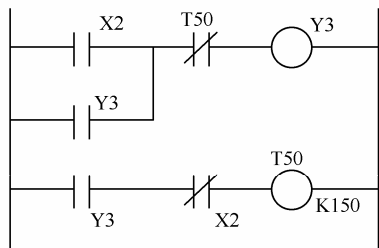
3.2.1 定时器和计数器的编程方法

1. 延时断开电路

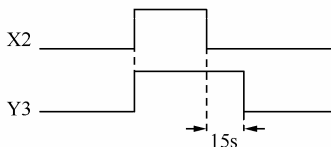
图 3.1 所示为用定时器构成的输入延时断开电路。当输入继电器 X2 为 ON 时，输出继电器 Y3 得电，并由本身的触点自保，同时由于 X2 的动断触点断开，使 T50 线圈不能得电；在 Y3 得电后，输入继电器 X2 为 OFF（动合触点断开）时，其 X2 的动断触点闭合，T50 线圈得电，开始定时，经过 15s 使设定值减为零，T50 的动断触点断开，Y3 线圈断开，实现 Y3 在 X2 为 OFF 的时刻延时了 15s。

2. 延时闭合/断开电路

图 3.2 所示为延时闭合/断开电路。图中，X0 为起动信号，两个定时器 T50 和 T51 用于延时闭合和延时断开的的时间控制。当输入 X0 为 ON 时，T50 得电，延时 5s 后，T50 的动合触点闭合，Y4 得电且自保；当输入 X0 为 OFF 时，其动断触点闭合，T51 线圈得电，延时 5s 后，T51 的动断触点断开，Y4 线圈解除自保断电。

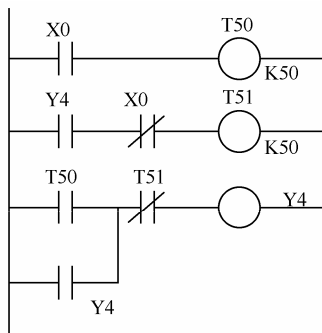


(a) 梯形图

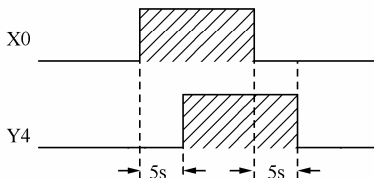


(b) 波形图

图 3.1 延时断开电路



(a) 梯形图



(b) 波形图

图 3.2 延时闭合/断开电路



3. 脉冲发生器电路

图 3.3 所示的脉冲振荡电路可以产生 50s 的脉冲信号，当 X0 闭合后，T50 线圈得电，经过 30s 后，其动合触点闭合，T51 线圈得电开始延时，经过 20s 后 T51 触点动作，其动断触点使 T50 线圈失电，T50 动合触点又使 T51 断开，一个周期结束。在一个周期中 T50 的动合触点闭合 20s，断开 30s；而 T51 的动合触点只闭合一个扫描周期的时间。T50 和 T51 动合触点的波形图如图 3.3 (b) 所示。只要 X0 接通，脉冲振荡电路就一直循环工作，直到 X0 断开，脉冲振荡电路才停止工作。

4. 定时器和计数器的组合使用

图 3.4 所示为定时器和计数器的组合使用，该电路可以获得 30 000s 的延时。图中 T0 的设定值为 100s，当 X0 闭合时，T0 线圈得电开始计时，当延时 100s 后，T0 的动断触点断开，使 T0 自保复位，在 T0 线圈再次得电后又可以开始计时。在电路中，T0 的动合触点每隔 100s 闭合一次，计数器 C0 计一次数，当计到 300 次时，C0 的动合触点闭合，Y1 线圈得电闭合，从而实现 Y1 线圈从 X0 为 ON 时刻，延时 300×100s 才有输出。X4 用于给计数器复位。

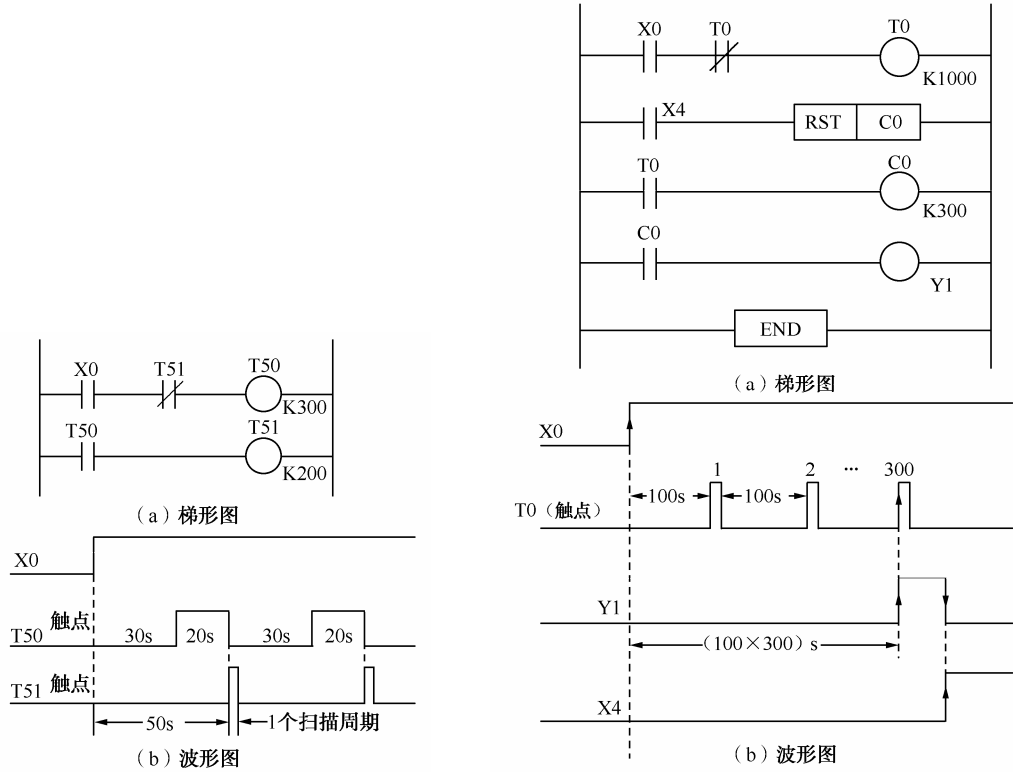


图 3.3 脉冲振荡电路

图 3.4 定时器和计数器的组合使用

3.2.2 起动、自保、停止控制作用的编程方法

具有起动、自保、停止功能的电路，是 PLC 控制电路最基本的环节，它经常用于对内部



辅助继电器和输出继电器进行控制。此电路有起动优先、停止优先两种不同的构成形式，如图 3.5 所示。

1. 起动优先式控制环节

在图 3.5 (a) 中，当起动信号 X_0 为 ON 时，无论关断信号 X_1 的状态如何， Y_0 总被起动，并通过 X_1 的动断触点实现自保；当起动信号 X_0 为 OFF 时，将停止信号 X_1 的动断触点断开， Y_0 断电。因为当起动信号 X_0 与停止信号 X_1 同时作用时，起动信号有效，所以称此电路为起动优先式。此电路常用于报警设备、安全防护及救援设备。它需要准确可靠地起动控制，无论停止按钮是否处于闭合状态，只要按下起动按钮，便可以起动设备。

2. 停止优先式控制环节

在图 3.5 (b) 中，当起动信号 X_0 为 ON 时， Y_0 得电，通过停止信号 X_1 的动断触点使 Y_0 得电且自保；当停止信号 X_1 的动断触点为 OFF 时，无论起动信号状态如何， Y_0 线圈始终失电。由于 X_0 与 X_1 同时作用时，停止信号有效，所以称此电路为停止优先式。此电路常用于需要紧急停车的场合。

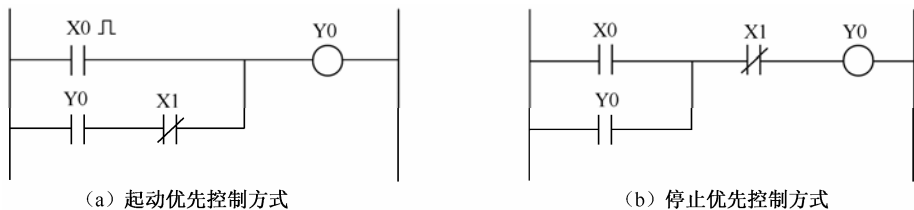


图 3.5 起动、自保、停止控制方式

3.2.3 互锁及顺序控制的编程方法

1. 互锁控制

在一些机械设备的控制中，经常见到存在某种互为制约的关系，在 PLC 控制电路中一般用反映某一运动的信号去控制另一运动，达到互锁控制的要求。图 3.6 为互锁控制的梯形图，图中为了使 Y_1 和 Y_2 不能同时得电，用 Y_1 和 Y_2 的动断触点分别串接在对方的控制电路中，实现互锁功能。

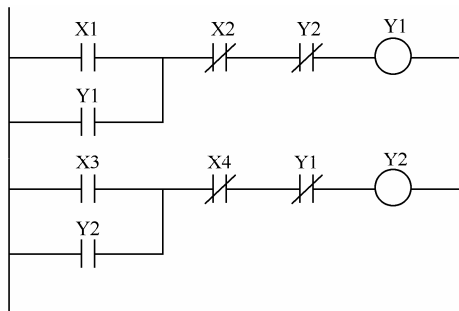


图 3.6 互锁控制



当 Y1、Y2 中有任何一个起动时，另一个必须为断电状态，即保证任何时候两者都不能同时起动，达到互锁的控制要求。这种互锁控制方式，经常用于控制电机的正转与反转、机床刀架的进给与快速移动、横梁升降与工作台走动、机床卡具的卡紧与放松等不能同时发生运动的控制。

2. 顺序控制

图 3.7 为顺序控制梯形图，线圈 Y0 的动合触点串接于线圈 Y1 的控制电路中，线圈 Y1 的得电是以 Y0 的接通为条件，只有 Y0 接通才允许 Y1 接通，Y0 关闭后 Y1 也被关闭。只有在 Y0 接通的条件下，Y1 才可以自行起动和停止。

3.2.4 手动及自动控制的编程方法

图 3.8 为自动控制系统的手动与自动切换梯形图，输入信号 X0 为系统设置的手动/自动选择开关，当选择手动工作状态时，X0 为 ON 满足主控指令的执行条件，执行手动控制程序，同时满足跳转执行条件，不执行自动控制程序；相反，当选择自动工作状态时，X0 为 OFF 时，不执行手动程序，执行自动程序。

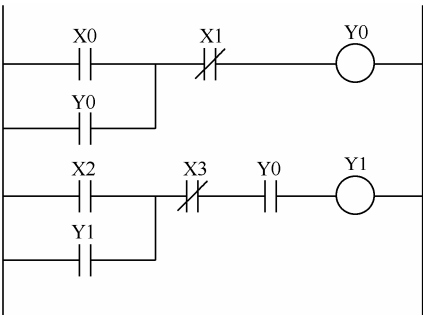


图 3.7 顺序控制

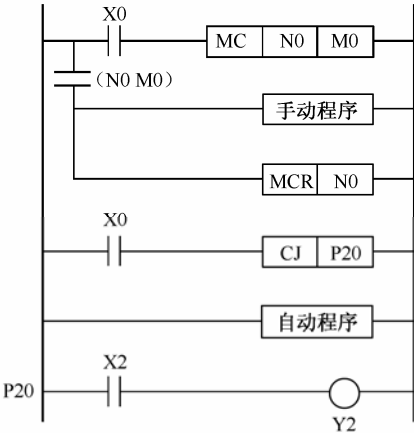


图 3.8 手动控制与自动控制

3.2.5 顺序步进控制的编程方法

在 PLC 的顺序控制中，经常采用顺序步进控制，使控制系统能按照固定的步骤，一步接着一部地执行。选择代表前一个运动的动合触点串联于后一个运动的起动电路中，作为后一个运动的发生条件（约束条件）；同时选择代表后一个运动的动断触点串联于前一个运动的停止线路中，作为关闭条件。这样才能保证，只有在前一个运动发生了，才允许后一个运动发生；而一旦后一个运动发生，立即就使前一个运动停止，因此可以实现各个运动严格地按照固定的顺序执行，从而达到顺序步进控制。图 3.9 所示为顺序步进控制线路，其中图（a）为采用停止优先控制方式，图（b）为采用起动优先控制方式。

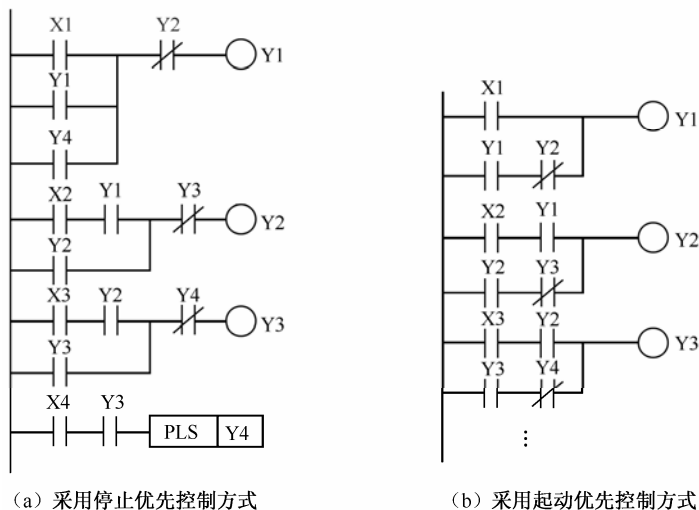


图 3.9 顺序步进控制线路

3.2.6 逻辑指令编程举例

例 3.1 电动机正反转控制。

图 3.10 所示为具有互锁功能的电动机正反转控制梯形图和 I/O 接线图。

PLC 的控制过程为：按下正向起动按钮时，输入继电器 X1 为 ON，输出继电器 Y0 的线圈得电并自保，接触器 KM1 得电吸合，电动机正转，与此同时，Y0 的动断触点断开 Y1 线圈，KM2 不能吸合，实现了电气的互锁；停机时按下停止按钮，X0 的动断触点断开，电动机停止运转。当按下反向起动按钮时，X2 为 ON，Y1 线圈得电，KM2 得电吸合，电动机反转，与此同时，Y1 的动断触点断开，使 Y0 线圈失电，KM1 不能吸合，实现电气互锁；在电动机过载时热继电器触点 FR 闭合，即 X3 的动断触点断开，使线圈 Y0、Y1 失电，从而使 KM1、KM2 断电释放，电动机停止。另外，在 PLC 的输出端还连接有交流接触器 KM 的硬件互锁电路和急停开关 SB0，如图 3.10（b）所示。

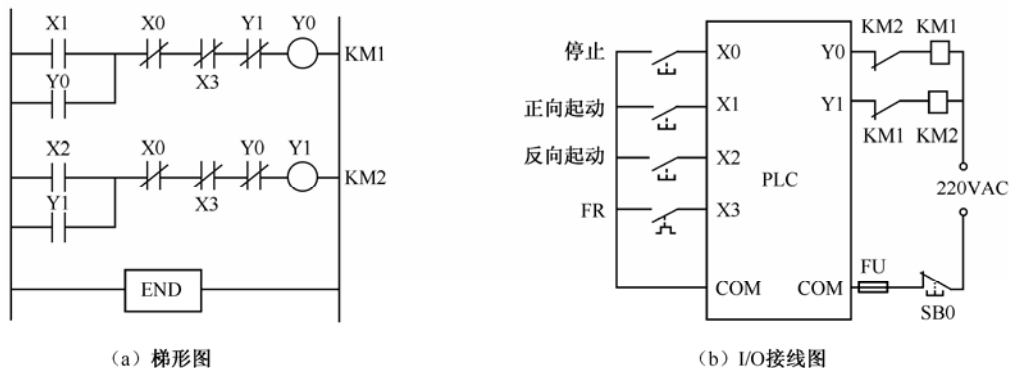


图 3.10 电动机正反转控制



例 3.2 两台电动机顺序起动控制。

图 3.11 所示为两台电动机顺序起动控制的梯形图和 I/O 接线图。图中由接触器 KM1、KM2 分别控制电动机 1 和电动机 2。

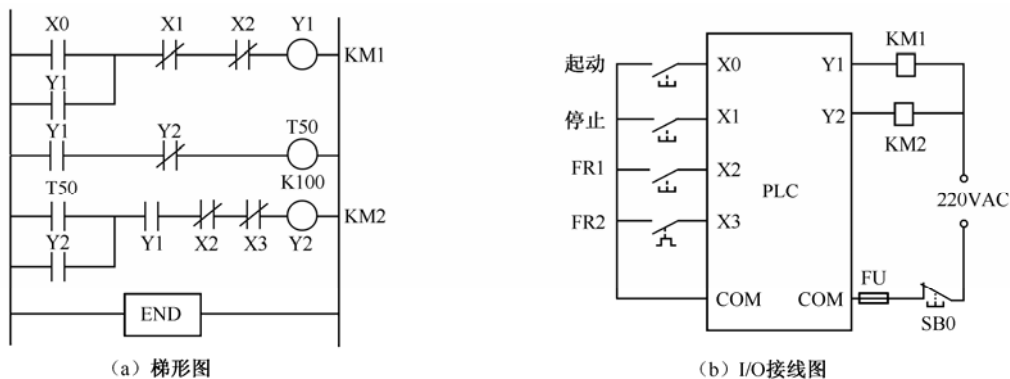


图 3.11 两台电动机顺序起动控制

PLC 的控制过程为：当按下起动按钮，输入继电器 X0 为 ON 时，输出继电器 Y1 的线圈得电并自保，接触器 KM1 得电起动电动机 1，同时 Y1 的动合触点闭合，定时器 T50 开始计时，10s 延时时间到，T50 的动合触点闭合，Y2 线圈接通并自保，KM2 得电吸合起动电动机 2，实现顺序起动两台电动机，而且只有 Y1 先起动，Y2 才能起动；当按下停止按钮，X1 动断触点断开，Y1 失电，Y1 的动合触点断开使 Y2 也失电，两台电动机立即停止，在 Y1 过载时，X2 动断触点（热继电器 FR1）断开，两台电动机均停止；如果出现 Y2 过载，即 X3 动断触点动作，KM2 失电，电动机 2 停止转动，但电动机 1 仍然继续运行。

例 3.3 某锅炉的鼓风机和引风机的起动/停止控制。

鼓风机和引风机起动/停止控制时序图如图 3.12 (a) 所示。要求在起动时，鼓风机比引风机晚 12s 起动，在停止时，引风机比鼓风机晚 15s 停机，采用经验设计法设计的梯形图和时序波形图如图 3.12 所示。

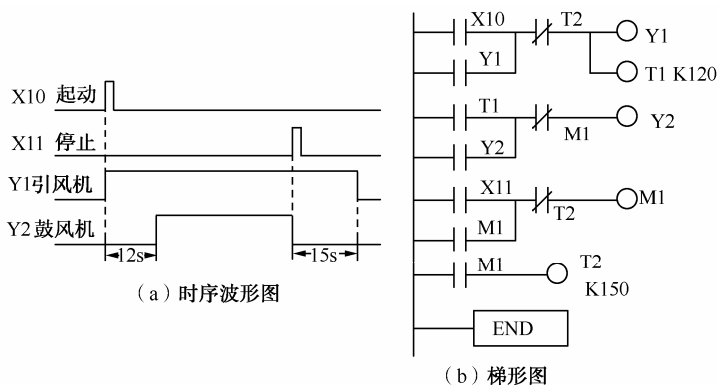


图 3.12 锅炉鼓风机和引风机的控制

引风机和鼓风机的起动、停止控制过程为：当起动按钮闭合 (X10=ON) 时，Y1 得电，引风机工作且同时驱动定时器 T1，当 12s 延时时间到来时，Y2 得电，鼓风机工作；当停止



按钮闭合（X11=ON）时，M1 的动断触点使 Y2 立即失电，鼓风机停止工作，同时驱动定时器 T2，当 15s 延时时间到来时，引风机停止工作。

例 3.4 声光报警控制程序设计。

图 3.13 所示为某一具有自保功能报警系统的梯形图。该控制程序可以实现声光报警功能，并具有手动检查报警指示灯是否正常、蜂鸣器消音和改变报警指示灯状态的功能。M8013 为内部特殊继电器（1s 时钟）。

I/O 地址分配如表 3.1 所示。

表 3.1 I/O 地址分配

输 入 信 号		输 出 信 号	
报警输入信号	X0	报警指示灯驱动	Y0
报警灯检查输入	X1	蜂鸣器驱动	Y1
蜂鸣器复位输入	X2		

报警控制原理为：

- （1）在没有报警信号输入时，手动操作使 X1 为 ON，Y0 线圈得电，控制其端口上的报警显示器点亮，所以 X1 为报警显示器的检查开关；
- （2）当有报警信号时，X0 为 ON，则 M100 线圈得电，其动合触点闭合，使第三个梯级中的 1s 脉冲时钟信号 M8013 通过输出端 Y0 驱动报警显示器点亮（按 1s 频率闪烁），同时 Y1 端蜂鸣器发声，实现声光报警功能；
- （3）操作蜂鸣器复位按钮使 X2 为 ON 时，M101 线圈得电，M101 的动合触点闭合，报警指示灯由闪烁变为常亮状态，M101 的动断触点断开，Y1 端的蜂鸣器消音；
- （4）当报警信号解除（X0 为 OFF），且蜂鸣器复位按钮复位（X2 为 OFF）时，电路恢复到初始状态。

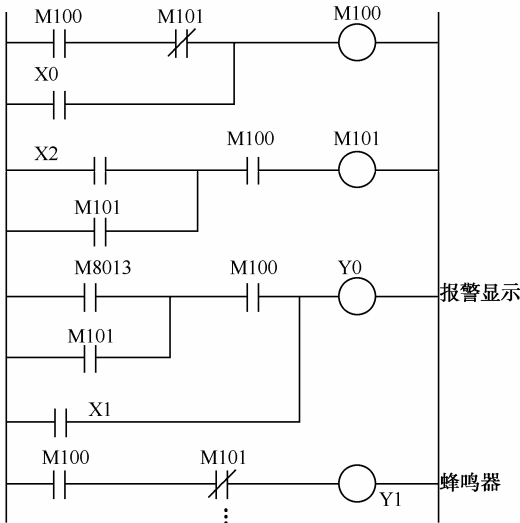


图 3.13 报警控制系统的 PLC 梯形图



3.3 步进指令及编程方法

3.3.1 功能图的绘制

在工业控制中,除了过程控制系统外,大部分的控制系统属于顺序控制系统。顺序控制是按照生产工艺预先规定的顺序,在各个输入信号的作用下,根据内部状态和时间的顺序,控制生产中的各个执行机构自动有序的工作过程。

为便于顺序控制系统的程序设计,FX系列PLC除了基本逻辑指令外,又增加了两条步进指令,其目标继电器是状态器S。所以对于顺序控制系统的程序设计,首先要按照控制系统的具体要求,画出其相应的步状态功能图,再根据步进指令的使用规则,直接将功能图转换成相应的梯形图。

1. 功能图的基本形式

功能图是一种用于描述顺序控制系统的图形说明语言,它由步、转移条件及有向线段组成。

(1) 步。功能图中的“步”是控制过程中的一个特定状态。步分为初始步和工作步,分别用双线方框和单线方框表示,在每一步中要完成一个或多个特定的动作,可以用文字或符号表示。初始步表示一个控制系统的初始状态,所以一个控制系统必须有一个初始步,初始步可以没有具体要完成的动作。

(2) 转移条件。步与步之间用“有向线段”连接,在有向线段上用一个或多个小短横线表示一个或多个转移条件,当条件得以满足时,可以实现由前一步“转移”到下一步的控制(由完成前一步的动作,转移到执行下一步的动作)。为了确保控制系统严格地按照顺序执行,步与步之间必须有转移条件。采用步进指令编程时,可以保证满足转移条件时,转移到下一步执行,并同时自动关闭上一步的动作。

(3) 转移条件的标注。转移条件是保证控制系统从一步向另一步转移的必要条件,通常用文字、逻辑方程及符号表示。在功能图中常用以下3种符号:

- ① “&”表示转移条件中各因素之间的“与”关系;
- ② “≥”表示转移条件中各因素之间的“或”关系;
- ③ “=1”表示转移条件永远成立。

2. 功能图的构成规则

(1) 画功能图时,首先要根据控制系统的具体要求,将控制系统的工作顺序分为若干步,并确定其相应的动作。

(2) 步与步之间用有向线段连接,当系统的控制顺序是从上向下时,可以不标注箭头,若控制顺序是从下向上执行时,必须要标注箭头。

(3) 找出步与步之间的转移条件。



- (4) 确定初始步，用于表示顺序控制的初始状态。
- (5) 系统结束时一般是返回到初始状态。

3. 功能图的形式

功能图可以分为 4 种形式：单一顺序、选择顺序、并发顺序、跳转与循环顺序，如图 3.14 所示，其中图（b）、（c）和（d）未画出各步所完成的动作。

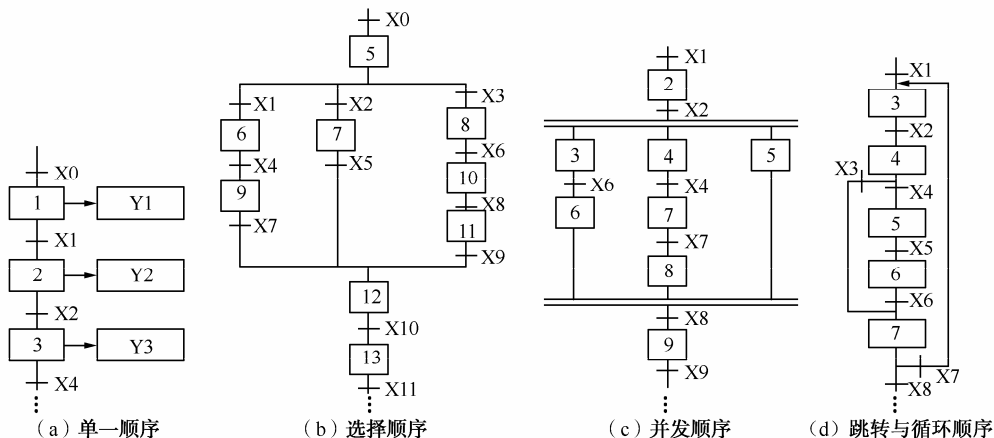


图 3.14 功能图的 4 种形式

(1) 单一顺序。单一顺序所表示的动作顺序是一步接着一步地完成的，每步连接着转移，转移后面也仅连接一个步。

(2) 选择顺序。选择顺序用单水平线表示。选择顺序是指在一步之后有若干个单一顺序等待选择，而一次仅能选择一个单一顺序。为了保证一次仅选择一个顺序，即选择的优先权，必须对各个转移条件加以约束。选择顺序的转移条件应标注在单水平线以内。

(3) 并发顺序。并发顺序用双水平线表示，双水平线表示若干个顺序的同时开始和结束。并发顺序是指在某一转移条件下，同时起动若干个顺序，完成各自相应的动作后，同时转移到并行结束的下一步。并发顺序的转移条件应标注在两个双水平线以外。

(4) 跳转与循环顺序。跳转与循环顺序表示顺序控制跳过某些状态和重复执行。功能图中的跳转和重复用箭头区分，带箭头的表示重复执行。

4. 功能图设计举例

例 3.5 送料车循环运行的功能图设计。

图 3.15 为某送料小车工作示意图，小车可以在 A、B 两地之间前进起动和后退起动，在 A、B 两处分别装有后限位开关和前限位开关，小车在 B 处停车时要延时 10s 再返回。

(1) 控制要求。在初始状态下，按下前进起动按钮，小车由初始状态前进，当小车前进至前限位时，前限位开关闭合，小车暂停，延时 10s 后小车后退，后退至后限位时，后限位开关闭合，小车又开始前进，……，如此循环工作下去。

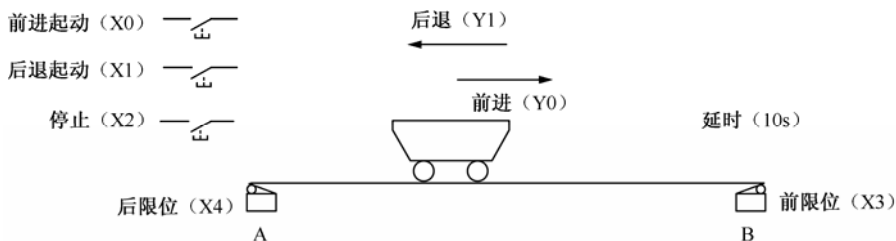


图 3.15 送料小车工作示意图

(2) PLC 的 I/O 地址分配，如表 3.2 所示。

表 3.2 PLC 的 I/O 地址分配

输入 信号		输出 信号	
前进起动按钮	X0	前进	Y0
后退起动按钮	X1	后退	Y1
停止按钮	X2		
前限位行程开关	X3		
后限位行程开关	X4		

(3) 功能图的设计。小车送料的工作循环过程分为前进、延时、后退 3 个工步，其功能图如图 3.16 所示，图中采用特殊辅助继电器 M8002 作为 PLC 上电后初始步的进入条件。

在前面所述的控制要求中再补充 3 条：

- ① 小车在前进步时，如果按下停止按钮 (X2=ON)，则小车回到初始状态；
 - ② 在初始状态时，如果按下后退按钮 (X1=ON)，则小车由初始状态直接到后退状态，然后按照后退→前进→延时→后退的顺序执行；
 - ③ 小车在后退时，如果按下停止按钮 (X2=ON)，则转移到初始状态，后退步停止。
- 加入补充的 3 条控制要求后，其功能图如图 3.17 所示。

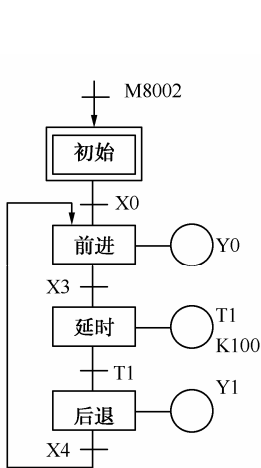


图 3.16 送料小车功能图之一

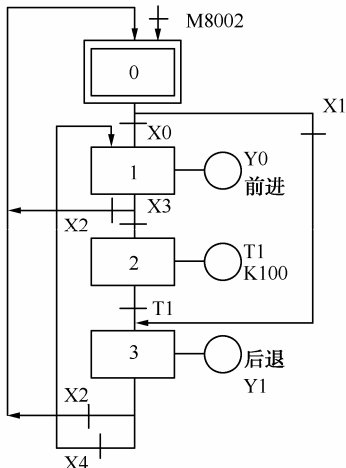


图 3.17 送料小车功能图之二

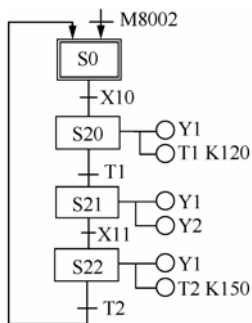


图 3.18 鼓风机和引风机的控制

例 3.6 锅炉鼓风机和引风机的功能图设计。

根据例 3.3 所示的锅炉鼓风机和引风机的工作时序图，设计的功能图如图 3.18 所示。首先采用 M8002 控制进入功能图的初始步 S0。当起动开关闭合 X10 为 ON，转移到 S20 步时，首先起动引风机（Y1），并同时驱动定时器 T1 计时。当 12s 延时时间到，在引风机工作的基础上，又起动鼓风机工作（Y2）。此时，鼓风机和引风机进入运行状态，只要不闭合停止开关，X11 就一直为 OFF，S21 步就不会关闭，也不能进入 S22 步，此状态将一直维持下去。直到闭合停止开关使 X11 为 ON，状态转移到 S22 步（关闭 S21 步），鼓风机停止运行，

并同时计时，当 15s 延时时间到，状态转移到初始步，引风机又停止运行。一次起动/停止控制动作结束，等待下一次起动操作。

3.3.2 步进指令的应用

1. 步进指令及步进（STL）梯形图

FX 系列 PLC 有两条步进指令：STL 和 RET。采用步进指令进行编程，不仅可以大大地简化 PLC 程序设计的过程，降低编程的出错率，还可以提高系统控制的及时性。

步进指令 STL（Step Ladder Instruction）用于状态器的动合触点（不用动断触点）与母线的连接。FX_{2N} 系列 PLC 状态器的编号为 S0~S899，共 900 点；FX_{0N} 系列 PLC 状态器的编号为 S0~S127，共 128 点。

RET（Return）用于步进触点返回母线。

2. 步进指令使用注意事项

（1）STL 触点闭合后，与此相连接的电路就可以执行，在 STL 触点断开时，与此相连接的电路停止执行。STL 触点由接通转为断开，要执行一个扫描周期。

（2）STL 步进指令仅对状态器 S 有效。但是状态器也可以作为一般的辅助继电器使用，对其采用 LD、LDI、AND 等指令编程，作为一般的辅助继电器使用时，状态器的编号不变，但在梯形图中其触点应采用单线触点的形式表示，不能用步进指令编程。

（3）STL 和 RET 要求配合使用。这是一对步进（开始和结束）指令。在一系列步进指令 STL 后，加上 RET 指令，表明步进指令功能结束，LD 点返回到原来母线。

采用步进指令进行程序设计时，其对应的是步进（STL）功能图及步进（STL）梯形图。STL 梯形图的形式和指令的用法如图 3.19 所示。图中 S22 被置位时，Y2 得电，S22 采用 SET 指令置位，Y2 采用 OUT 指令驱动；当满足转移条件 X2（X2=ON）时，状态就由 S22 转移到 S23，此时 S23 被置位，执行 Y3，同时 S22 自动复位。

3. 步进指令使用说明

（1）STL 用于 S 状态器的动合触点，其触点可以直接或通过其他触点去驱动 Y、M、S、



T 等元件的线圈，使之复位或置位，但 STL 触点本身只能用 SET 指令驱动。

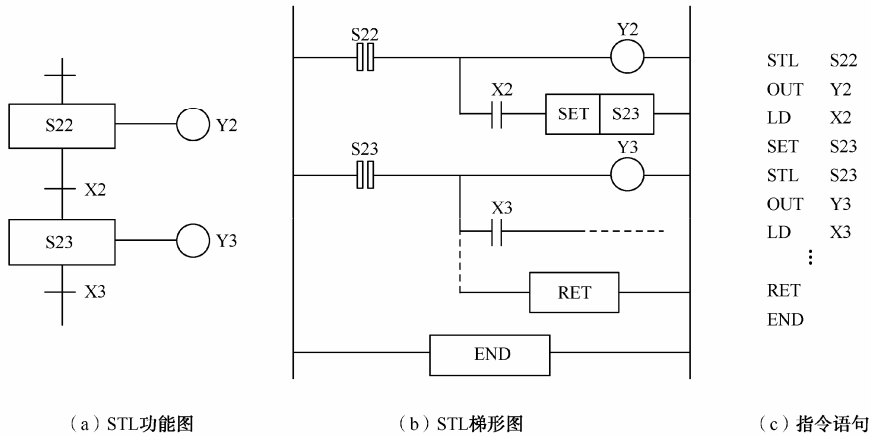


图 3.19 STL、RET 指令的用法

- (2) STL 指令完成的是步进功能，所以当后一个触点闭合时，前一个触点便自动复位，因此在 STL 触点的电路中允许双线圈输出。
- (3) STL 指令在同一个程序中对同一状态寄存器只能使用一次，说明控制过程中同一状态只能出现一次。
- (4) 在时间顺序步进控制电路中，只要不是相邻的步进工序，同一个定时器可在多个步进工序中使用，这样可以节省定时器。

4. STL功能图与梯形图的转换

采用步进指令进行程序设计时，首先要设计系统的功能图，然后再将功能图转换成梯形图，写出相应的指令语句。将功能图转换成梯形图时，首先要注意初始步的进入条件。初始步一般由系统的结束步控制进入，以实现顺序控制系统连续循环动作的要求，但是在 PLC 初次上电时，必须采用其他的方法预先驱动初始步，使之处于工作状态。在图 3.20 中采用特殊的辅助继电器 M8002 实现初始步 S0 的置位。某系统的顺序控制程序设计步骤如图 3.20 (a) 所示。

对于初始状态器之外的一般状态器必须在其他状态后加入 STL 指令才能驱动，不能脱离状态器用其他方式驱动。

5. 多流程步进控制的处理方法

在顺序控制系统中经常遇到的是选择顺序、并发顺序、跳转与循环顺序以及它们三者的结合，在这里将这些情况统称为多流程步进控制。

(1) 选择顺序的 STL 梯形图。如图 3.21 所示为选择顺序的 STL 功能图和梯形图，图中 X1 和 X4 为选择转换条件。当 X1 闭合时，S21 状态转向 S22；当 X4 闭合时，S21 状态转向 S24，但 X1 和 X4 不能同时闭合；当 S22 或 S24 置位时，S21 自动复位。状态器 S26 由 S23 (或 S25) 置位，当 S26 置位时，S23 (或 S25) 自动复位。

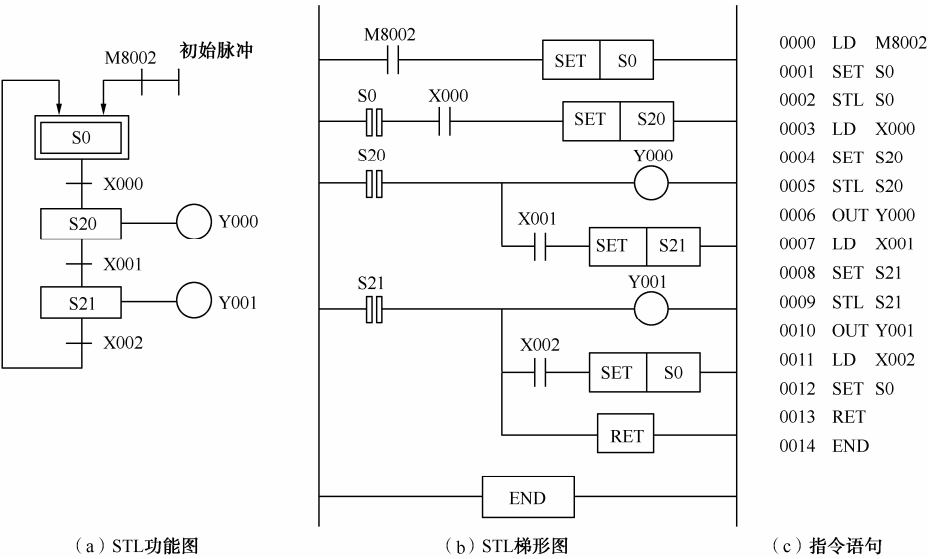


图 3.20 STL 功能图与梯形图的转换

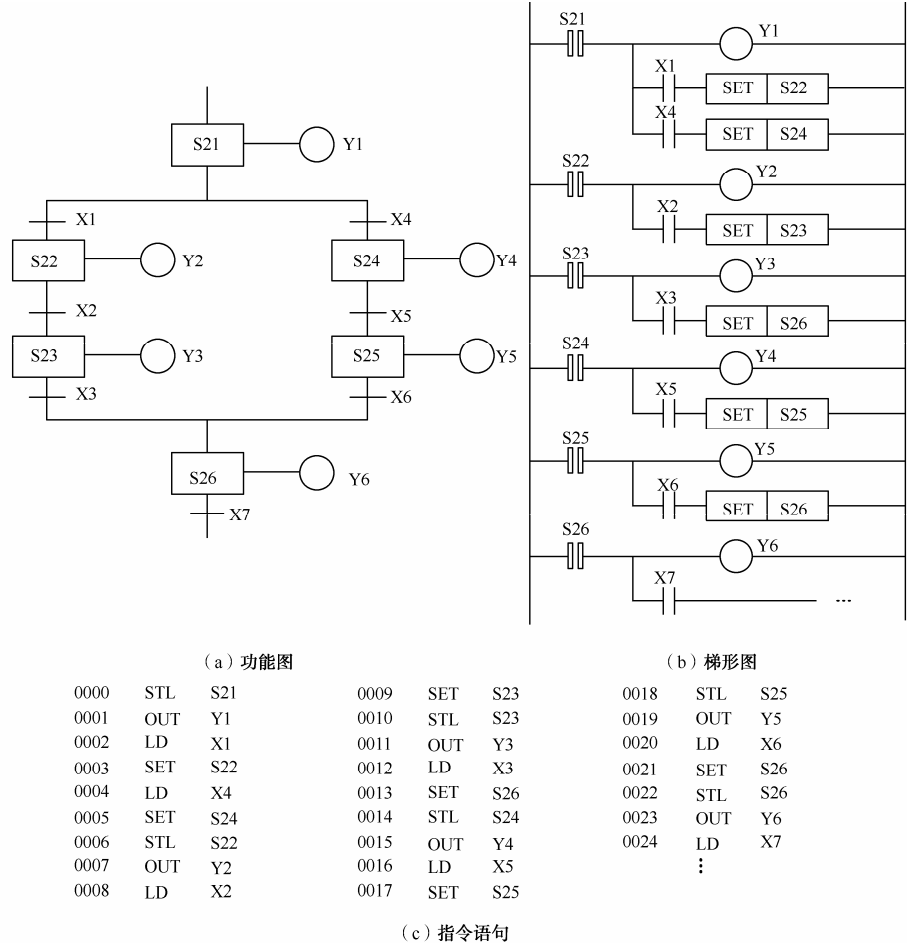
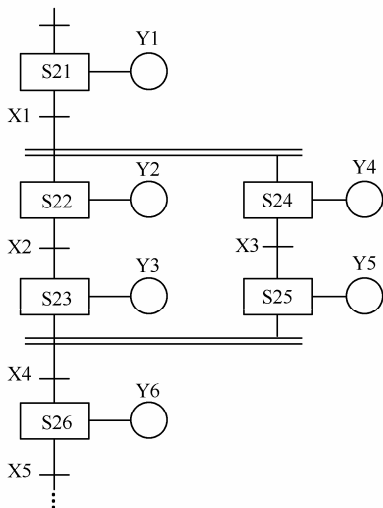


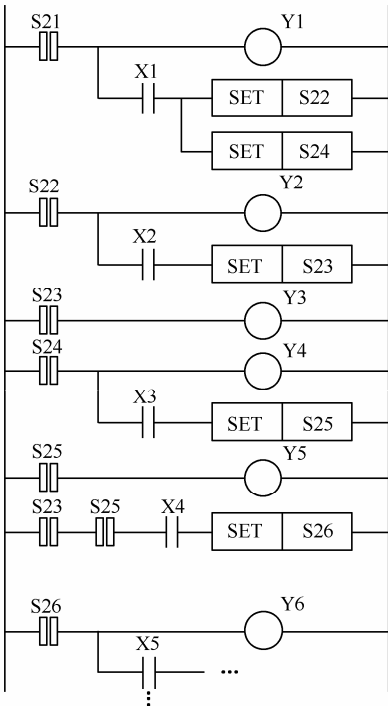
图 3.21 选择顺序



(2) 并发顺序的 STL 梯形图。图 3.22 所示为并发顺序的 STL 功能图和梯形图，图中当转换条件 X1 闭合时，状态同时转换，S22 和 S24 同时置位，两个分支同时执行各自的步进流程，S21 自动复位；当 X2 闭合时，状态从 S22 转向 S23，S22 自动复位；当 X3 闭合时，状态从 S24 转向 S25，S24 自动复位。当 S23 和 S25 置位后，若 X4 闭合，则 S26 置位，而 S23 和 S25 同时自动复位。连续使用 STL 指令次数不能超过 8 次，即并联分支最多不能超过 8 个。



(a) 功能图



(b) 梯形图

0000	STL	S21	0009	STL	S23	0018	STL	S25
0001	OUT	Y1	0010	OUT	Y3	0019	LD	X4
0002	LD	X1	0011	STL	S24	0020	SET	S26
0003	SET	S22	0012	OUT	Y4	0021	STL	S26
0004	SET	S24	0013	LD	X3	0022	OUT	Y6
0005	STL	S22	0014	SET	S25	0023	LD	X5
0006	OUT	Y2	0015	STL	S25			
0007	LD	X2	0016	OUT	Y5			
0008	SET	S23	0017	STL	S23			

(c) 指令语句

图 3.22 并发顺序

(3) 有局部循环的 STL 梯形图。如图 3.23 所示的 STL 梯形图，是用计数器来控制程序中的循环操作次数的，在状态器 S24 置位后，计数器计数。当 C10 未计满 10 次且 X4 闭合时，S24 状态循环到 S22，此状态循环 10 次后 C10 动作，即 C10 的动合触点闭合，若 X5 也闭合，则 S25 被置位，同时 C10 动断触点断开，状态循环停止。

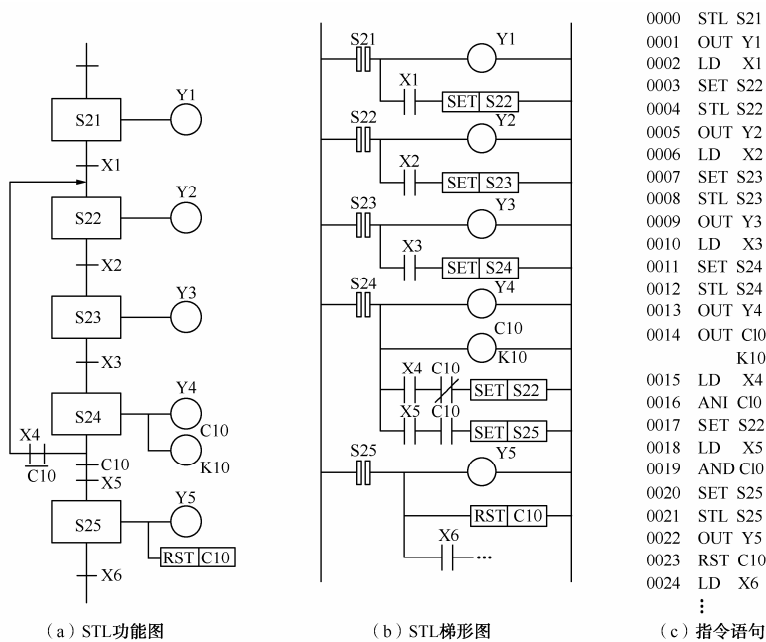


图 3.23 用计数器控制循环操作次数

3.4 控制程序的设计举例

3.4.1 顺序运动的控制程序设计

1. 往返运动控制

(1) 采用经验法设计控制程序。

① 控制要求。如图 3.24 (a) 所示为小车往返运行示意图，如图 3.24 (b) 所示为小车往返运动控制程序。控制过程：小车的初始状态为中间点，其限位开关 X0 为 ON，按下起动开关 X3，小车右行，运动到右限位开关 (X1) 闭合，自动转为左行，运动到左限位开关 (X2) 闭合，又转为右行，……，如此循环工作下去。当按下停止按钮 (X4=ON) 时，小车要运行到初始位置 (X0=ON) 时，才能停止运行。

② I/O 地址分配。I/O 地址分配如表 3.3 所示。

表 3.3 I/O 地址分配

输入信号		输出信号	
初始位置限位开关	X0	右行	Y0
右限位开关	X1	左行	Y1
左限位开关	X2		
起动按钮	X3		
停止按钮	X4		

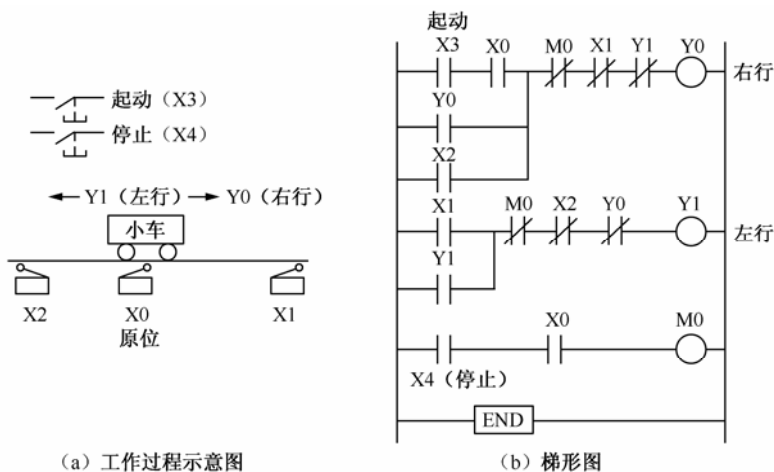


图 3.24 小车往返运动控制（经验法设计程序）

③ 程序梯形图。程序梯形图如图 3.24 (b) 所示。小车启动后 (X3=ON)，Y0 得电自保，小车右行，运行到右限位开关闭合时 (X1=ON)，Y0 断电，Y1 得电且自保，小车主行，当左行到左限位开关闭合时 (X2=ON)，Y1 断电，Y0 得电又转入右行；当按下停止按钮 (X4=ON)，且小车主在原位时 (X0=ON)，M0 线圈才能得电，M0 的动断触点断开，Y0、Y1 均断电，小车主停止。

(2) 采用功能图设计控制程序。

① 功能图设计。送料车往返运动控制的功能图如图 3.25 (a) 所示。采用 M8002 产生的初始化脉冲给程序中使用的所有步状态器进行复位，接着再给 S0 置位，进入控制程序的初始步。初始步为一等待步，没有要完成的动作，当小车主在原位时 (X0=ON)，闭合启动开关 X3 为 ON，转移到 S20 步。控制小车主右行，右行至右限位开关闭合，转移到 S21 步，控制小车主左行，直至左限位开关闭合后，状态转移到 S20 步，又继续开始右行……，一直循环运行下去。在小车主右行的过程中，只要停止开关闭合，小车主运行到原位就会停止。同样，在小车主左行的过程中，当按下停止开关时，小车主运行到原位时就会停止下来。

② STL 梯形图设计。根据步进指令的规则，将小车主往返运动控制的功能图转换成相应的梯形图，如图 3.25 (b) 所示，其指令语句如表 3.4 所示。

表 3.4 指令语句表

步序号	助记符	操作数	步序号	助记符	操作数	步序号	助记符	操作数
0000	LD	M8002	0007	STL	S20	0015	OUT	Y1
0001	ZRST	S0	0008	OUT	Y0	0016	LD	X4
		S21	0009	LD	X1	0017	AND	X0
0002	SET	S0	0010	SET	S21	0018	SET	S0
0003	STL	S0	0011	LD	X0	0019	LD	X2
0004	LD	X0	0012	AND	X4	0020	SET	S20
0005	AND	X3	0013	SET	S0	0021	RET	
0006	SET	S20	0014	STL	S21	0022	END	

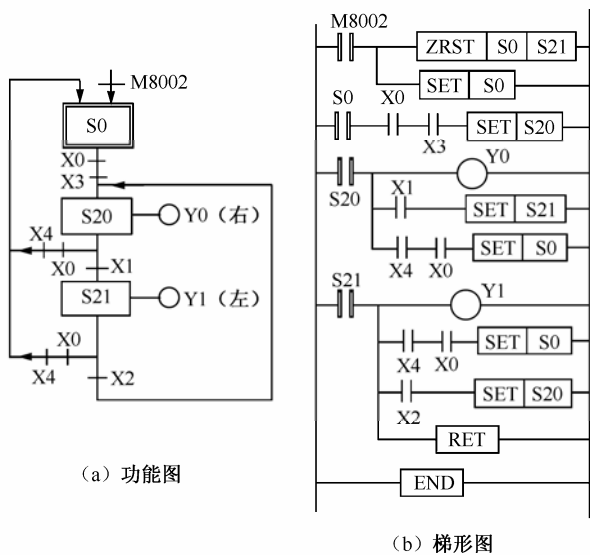


图 3.25 小车往返运动控制（功能图设计程序）

2. 皮带运输机的PLC控制

皮带输送机广泛地应用于冶金、化工、机械、煤矿、建材等工业生产中。图 3.26 为某原材料皮带运输机的示意图。如图所示，原材料从料斗经过两台皮带输送机送出，料斗供料由电磁阀 YV 控制，皮带输送机 1、2 分别由交流接触器 KM1、KM2 控制电机进行拖动。

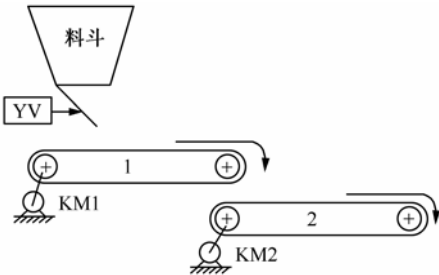


图 3.26 某原材料皮带运输机的示意图

(1) 控制过程。

① 初始状态。料斗、皮带 1 和皮带 2 全部处于关闭状态。

② 起动操作。起动时为了避免在前段运输皮带上造成物料堆积，要求逆送料方向按一定的时间间隔顺序起动。其操作步骤为：皮带 2→延时 10s→皮带 1→延时 10s→料斗。

③ 停止操作。停止时为了使运输机皮带上不留剩余的物料，要求顺物料流动的方向按一定的时间间隔顺序停止。其停止的顺序为：料斗→延时 10s→皮带 1→延时 10s→皮带 2。

④ 故障停车。在皮带运输机的运行中，若出现皮带 1 过载时，应把料斗和皮带 1 同时关闭，皮带 2 应在皮带 1 停止 10s 后停止。若出现皮带 2 过载，应立即关闭皮带 1、皮带 2 和料斗。

(2) I/O 地址分配如表 3.5 所示。



表 3.5 I/O 地址分配

输 入 地 址		输 出 地 址	
起动按钮	X0	料斗控制 YV	Y0
停止按钮	X1	接触器 KM1	Y1
热继电器	X3	接触器 KM2	Y2
热继电器	X4		

(3) 程序设计。如图 3.27 所示为根据皮带输送机控制要求设计的功能图。功能图的控制功能分析如下：

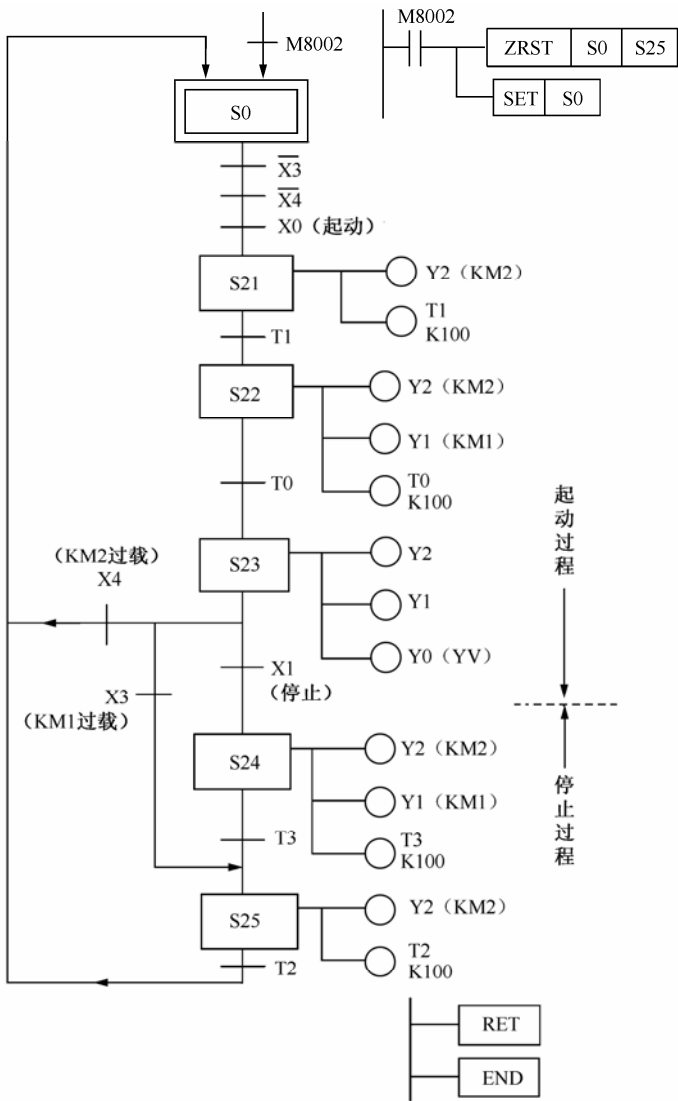


图 3.27 皮带运输机的 PLC 功能图

① PLC 投入运行，M8002 产生一个初始化脉冲，将全部的步状态器 S0~S25 复位，并将初始步 S0 置位。



② 起动时，按下起动按钮，X0 闭合，且 KM1 和 KM2 正常，其热继电器的动断触点 X3、X4 处于闭合状态，系统的状态转移到 S21，Y2 得电，KM2 首先投入运行，T1 同时得电开始延时，10s 后，状态转移到 S22，Y2、Y1 得电（在 KM2 工作的基础上 KM1 也投入运行），同时 T0 得电开始延时，10s 后，状态转移到 S23，Y2、Y1、Y0 全部得电，KM2、KM1、YV 都投入运行，完成全部起动过程。

③ 当按下停止按钮时，X1 闭合，状态转移到 S24，Y0 断开，YV 停止运行，同时 T3 开始计时，延时 10s 后，状态转移到 S25，Y1 断开，KM1 停止运行，同时 T2 开始计时，延时 10s 后，状态转移到 S0，Y2 断电，KM2 停止运行，完成全部停止过程，并准备好下次起动。

运输机在运行中若出现 KM2 过载时，KM2 的热继电器触点 X4 闭合，状态转移到 S0，此时 X4 动断触点断开，禁止 S0 转移，所以全部输出断开，KM2、KM1、YV 停止运行，直到 KM2 的热继电器复位时，其动断触点 X4 闭合，才可以再次起动。

运行中若出现 KM1 过载时，触点 X3 闭合，状态转移到 S25，Y0、Y1 失电，料斗和皮带 1 同时被关闭，同时 T2 开始计时，延时 10s 后，状态转移到初始状态 S0，Y2 失电，皮带 2 停止运行，直到 KM1 的热继电器复位时，X3 常闭触点闭合，皮带又可以再一次起动。

将功能图转换成相应的梯形图，如图 3.28 所示。

3.4.2 化工生产的液体混合控制

1. 两种液体混合控制装置

设有两种液体 A 和 B，在容器内按照一定比例进行混合搅拌，液体混合装置的结构示意图如图 3.29 所示。其中，SQ1、SQ2 和 SQ3 为液位传感器，传感器在液位淹没时为 ON，浮出时为 OFF。YV0、YV1 和 YV2 为电磁阀，在 Y0、Y1、Y2 端的信号为 ON 时阀门打开，为 OFF 时阀门关闭。KM 为控制搅拌机的交流接触器。

(1) 控制要求。

① 初始状态。各个阀门及搅拌机均为关闭状态，容器是空的。

② 接通电源后，首先打开阀门 C，放出残余液体，20s 后关闭。

③ 起动操作。闭合起动开关，阀门 YV0 打开，放出 A 液体直至淹没传感器 SQ2，关闭阀门 YV0；打开阀门 YV1，放出 B 液体直至淹没 SQ1，关闭阀门 YV1；打开搅拌机，搅拌 60s 后；关闭 KM，再打开 YV2，放出混合液体 C，直至 SQ3 浮出液面；再继续延时 20s 后，关闭 YV2。

④ 停止操作。闭合停止开关，系统将当前周期的液体混合操作处理完毕，回到初始状态才停止工作。

(2) I/O 地址分配。I/O 地址分配如表 3.6 所示。

表 3.6 I/O 地址分配

输 入 地 址		输 出 地 址	
起动按钮	X0	YV0 电磁阀	Y0
停止按钮	X1	YV1 电磁阀	Y1
高位液位传感器	X2	YV2 电磁阀	Y2
中位液位传感器	X3	KM 搅拌机	Y3
低位液位传感器	X4		

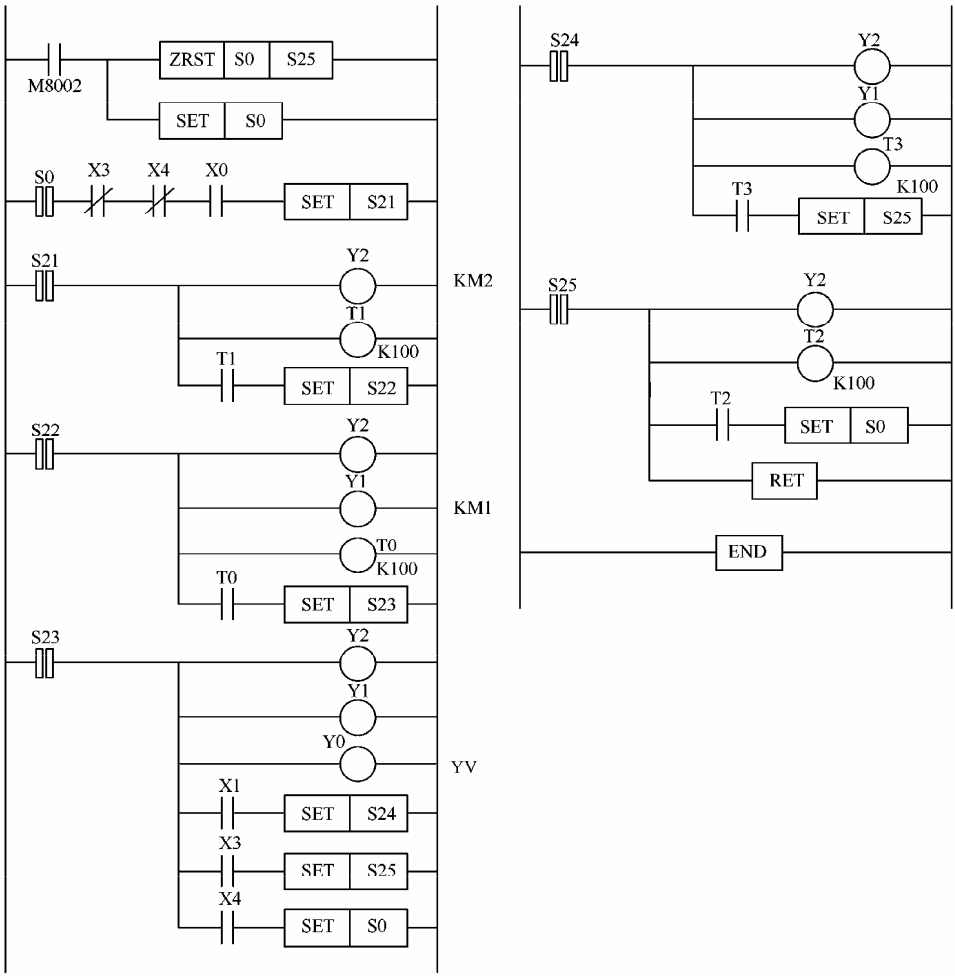


图 3.28 皮带运输机的 PLC 梯形图

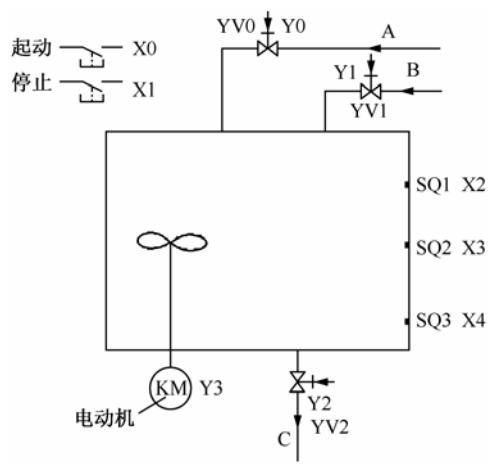
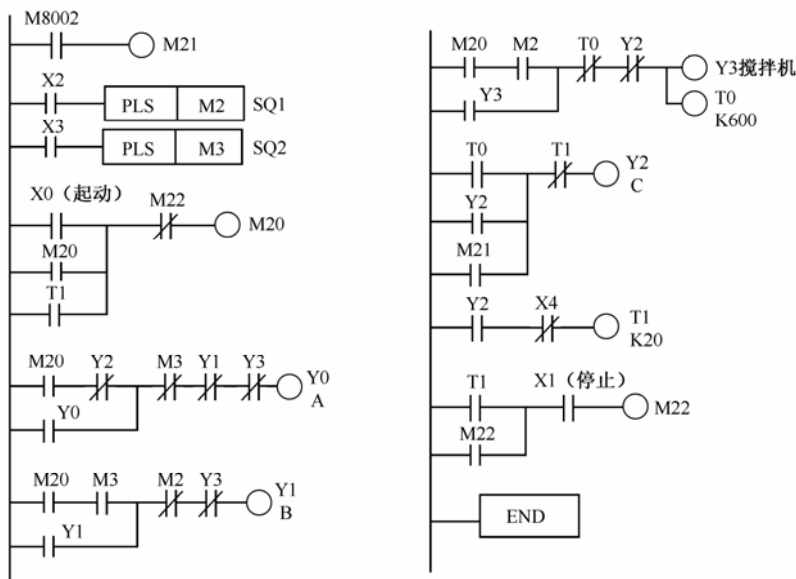


图 3.29 两种液体混合装置示意图

① 采用经验法设计程序。采用经验法设计的梯形图如图 3.30 所示。程序的控制功能分析所述。

接通电源后,在 PLC 上电后的第一个扫描周期,利用 M8002 初始化脉冲首先使 M21 线圈得电,M21 的动合触点闭合,Y2 得电且自保,控制阀门 YV2 打开,放出残余混合液体 C,在低位液位检测传感器浮出液面时,再延时 20s 时间后,关闭阀门 YV2。



起动开关闭合后 $X0=ON$ ，M20 线圈得电且自保，其动合触点闭合，按照系统的控制要求进行控制，即 $Y0 \rightarrow Y1 \rightarrow Y3$ 、 $T0 \rightarrow Y2 \rightarrow T1$ ，若未按下停止开关 ($X1=OFF$)，当 T1 延时时间到，T1 的动合触点闭合，又使 M20 线圈得电且自保，M20 的动合触点闭合，自动进入液体混合的下一个工作周期。

停止开关 X1 安排在梯形图的最后一个梯级中，当停止开关闭合后，只有在程序执行到最后一个梯级时，M22 线圈得电，M22 的动断触点断开，使 M20 线圈失电，M20 的动合触点断开，不能继续执行，停留在初始状态。

在停止开关 X1 复位后, M22 的动断触点闭合后, 才可以再次起动。

② 采用功能图设计程序。如图 3.31 所示为液体混合处理的程序功能图。图中采用 M8002 初始化脉冲进入初始步 S0，实现 PLC 上电后首先控制 Y2 得电，YV2 阀门打开，经过 20s 时间放出残余混合液体 C。起动开关闭合后，执行到 S21 步，驱动 Y0 控制阀门 YV0 打开，放入 A 液体、淹没 SQ2 后，驱…，按照功能图的顺序执行，直至搅拌机工作 60s 后，到 S24 步

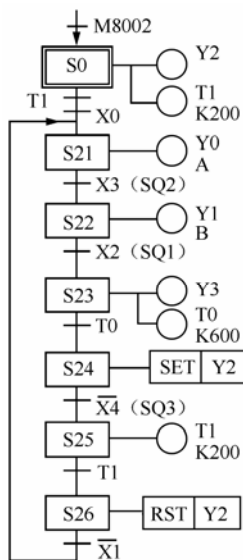


图 3.31 液体混合处理功能图



给 Y2 置位，打开阀门 YV2，放出混合液体 C，当液位传感器 SQ3 浮出液面时，X4 为 OFF，其动断触点闭合，转移到 S25 步，继续延时 20s 后给 Y2 复位，即关闭阀门 YV2。

若未闭合停止开关，则可继续循环执行到 S21 步，若停止开关已闭合（X1 为 ON），则只能停留在本周期动作完成的状态，不能继续进行下一周期的循环工作，在停止开关复位后，可自动进入下一周期的运行。

将功能图按照步进指令的使用规则转换成 STL 梯形图，如图 3.32 所示。

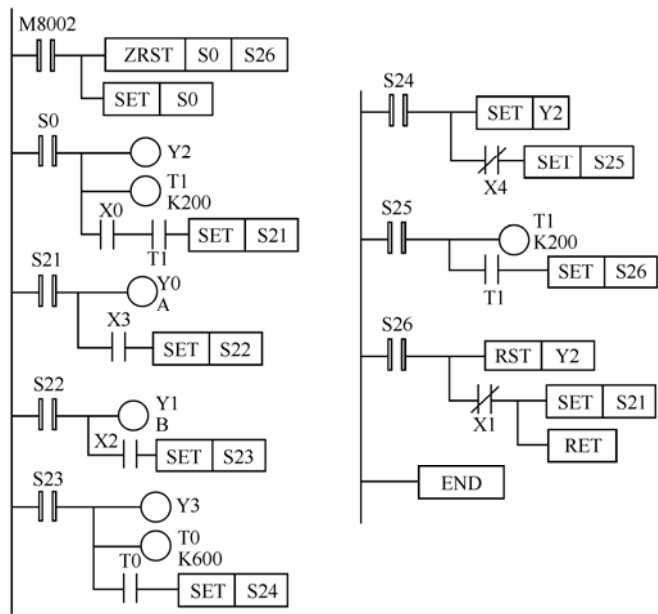


图 3.32 液体混合处理 STL 梯形图

2. 化工生产的液体混合控制

某化工生产的一个化学反应过程是在 4 个容器中进行的，如图 3.33 所示。化学反应中的各个容器之间用泵进行输送，每个容器都装有液位传感器，用于检测容器中液体的空和满，2[#]容器装有加热器和温度传感器，3[#]容器装有搅拌器。当 1[#]、2[#]容器里的液体抽入到 3[#]容器时，起动搅拌器。3[#]容器的容积是 1[#]、2[#]容积的总和，1[#]、2[#]的液体可以将 3[#]装满，3[#]和 4[#]容器之间装有过滤器。

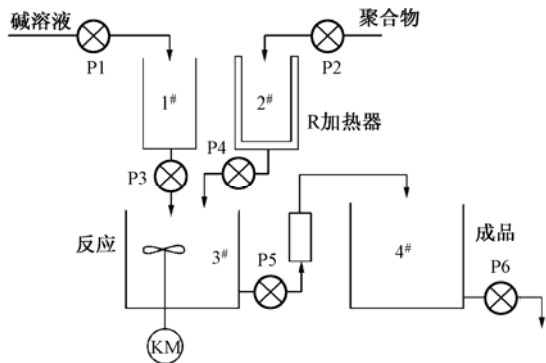


图 3.33 化学反应装置示意图



（1）工作过程及控制要求。

初始状态。全部容器是空的，泵 P1~P6 全部关闭，2[#]容器的加热器关闭，3[#]容器的搅拌器关闭。

起动操作。按下起动按钮后，要求按以下步骤自动工作：

- ① 同时打开泵 P1、P2，碱溶液进入 1[#]容器内，聚合物进入 2[#]容器，直到 1[#]、2[#]容器装满；
- ② 关闭泵 P1 和 P2，并打开加热器 R，给 2[#]容器加热，直到容器内的温度达到 60℃；
- ③ 关闭加热器 R，并同时打开泵 P3、P4 及搅拌器，将 1[#]和 2[#]容器中的液体放到 3[#]容器，直到 1[#]、2[#]容器放空，3[#]容器装满，搅拌器搅拌 60s 后结束；
- ④ 关闭搅拌器，关闭泵 P3、P4，打开泵 P5，将 3[#]容器内混合好的液体经过过滤器抽到 4[#]容器，直到 3[#]容器放空，4[#]容器装满；
- ⑤ 关闭泵 P5，打开泵 P6 将产品从 4[#]容器中放出，直到 4[#]容器放空为止。

停止操作。在任何时候按下停止操作按钮后，控制系统都要将当前的化学反应过程进行到底（最后一步），才能停止动作返回到初始状态，以防止浪费液体。

（2）I/O 地址分配。I/O 地址分配如表 3.7 所示。

表 3.7 I/O 地址分配

输入信号		输出信号	
起动	X0	泵 P1	Y0
停止	X1	泵 P2	Y1
1 [#] 满	X2	加热器 R	Y2
1 [#] 空	X3	泵 P3	Y3
2 [#] 满	X4	泵 P4	Y4
2 [#] 空	X5	搅拌器 KM	Y5
3 [#] 满	X6	泵 P5	Y6
3 [#] 空	X7	泵 P6	Y7
4 [#] 满	X10		
4 [#] 空	X11		
温度传感器	X12		

（3）功能图的设计。根据上面工作过程的分析，可以画出控制系统的功能图，如图 3.34 所示。图中含有两个并发顺序，采用步控指令编程，图中的特殊辅助继电器 M8002 将步状态器 S0~S32 进行复位，并将初始步 S0 置位。

（4）梯形图的设计。将如图 3.34 所示的功能图转换成梯形图，如图 3.35 所示。参考图 3.35 所示梯形图可写出其相应的指令语句表。

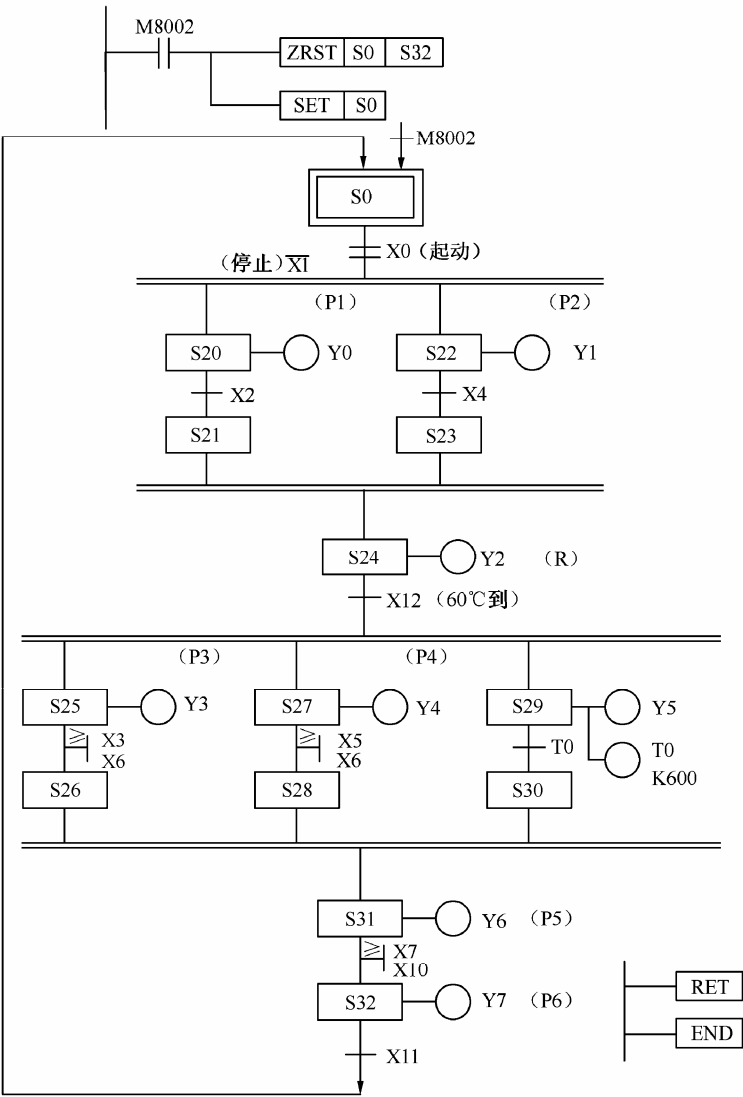


图 3.34 化学反应控制功能图

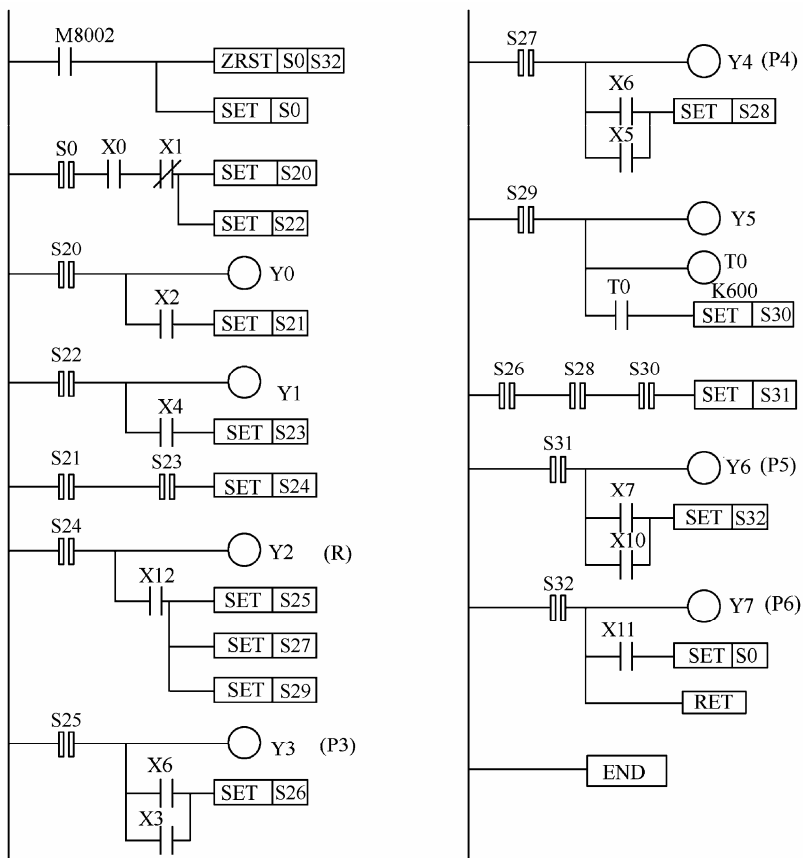


图 3.35 化学反应控制梯形图

习题 3

3.1 将如图 3.36 所示的 STL 功能图转换成 STL 梯形图，并写出指令语句。

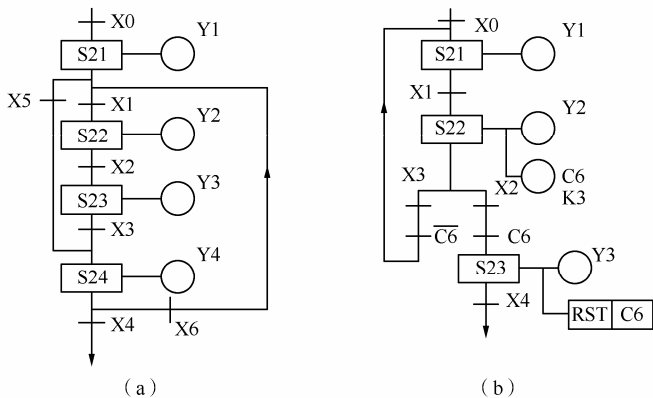


图 3.36 题 3.1 图



3.2 已知梯形图如图 3.37 所示，根据工作原理画出相应的时序图。

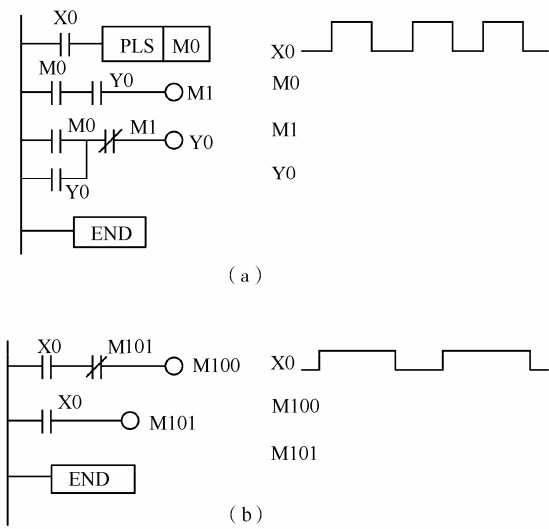


图 3.37 题 3.2 图

3.3 某矿场采用的是离心式选矿机，图 3.38 是其工作示意图。控制系统的要求如下：

- (1) 在任何时候按下停车按钮，当前进行的选矿工艺过程都要进行到底，才能停止工作，这样可以减少浪费，同时在下一次工作时可以从头开始，做到工作有序。
 - (2) 按下起动按钮，选矿开始，首先打开断矿阀 A，矿流进入离心选矿机。
 - (3) 180s 后装满选矿机，关闭断矿阀，暂停 4s。
 - (4) 起动离心选矿机和分矿阀 B（使精矿和尾石分开），运行 25s。
 - (5) 关闭分矿阀 B，同时离心选矿机也停止旋转。
 - (6) 暂停 4s 后，再打开冲矿阀 C 进行冲水。
 - (7) 2s 后关闭冲矿阀 C，暂停 4s。
 - (8) 再继续打开断矿阀 A，矿流进入离心机，进入下一个工作过程。
- 要求设计功能图、梯形图和指令语句（采用步进指令实现控制）。

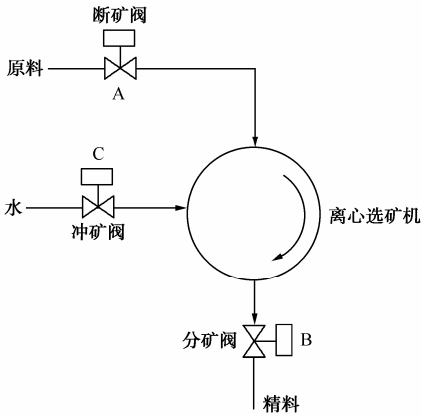


图 3.38 离心机选矿示意图

FX系列可编程控制器的功能指令

本章要点

1. 功能指令的基本格式。
2. 常用功能指令的编程方法及使用注意事项。

可编程控制器的内部除了有很多基本逻辑指令外，还有大量的功能指令（应用指令），这些功能指令实际上是许多功能不同的子程序，它大大地扩展了可编程控制器的应用范围，使其可以用于实现过程的闭环控制。

4.1 功能指令概述

功能指令和基本逻辑指令的形式不同，基本逻辑指令用助记符或逻辑操作符表示，其梯形图就是继电器触点、线圈的连接图。功能指令用功能号（代码）表示，FX_{0N}系列 PLC 功能指令的代码为 FNC（Function）00~FNC 67，FX₂系列 PLC 的功能指令代码为 FNC00~FNC99，FX_{2N}系列 PLC 功能指令的代码为 FNC00~FNC250，每条功能指令有其相应的助记符和代码。

有关本章中所述的功能指令的代码、操作功能及操作数，请读者参见第 4.10 节的功能指令汇总表。

4.1.1 功能指令的基本格式及执行方式

1. 功能指令的梯形图表示

功能指令采用梯形图和助记符相结合的形式。功能图在梯形图中用功能框表示。在功能框中，用功能指令代码或通用的助记符形式表示该功能指令。如图 4.1 所示为功能指令 MEAN 的梯形图，这是一条“求平均值”的功能指令，指令的代码是 45。X0 是该条功能指令的执行条件，当 X0 为 ON 时，求出 D0、D1、D2 中数据的平均值，并将结果送到 D10 中。



功能指令由助记符和操作数两部分组成。

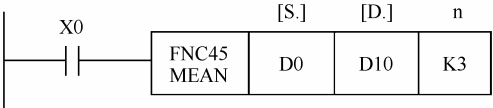


图 4.1 功能指令 MEAN 的梯形图

(1) 助记符部分。功能框的第一段即为助记符部分，表示该指令应完成的功能。由于功能指令有很多种类型，故每条功能指令都设有相应的代码（功能号），如求平均值指令的代码为 45。为了便于记忆，每个功能指令都有一个助记符，对应 FNC45 的助记符是 MEAN，表示“求平均值”。在使用编程器编程时，按下功能指令键后，再输入该条指令的代码，在编程器上实际显示的就是该功能指令相应的助记符。

(2) 操作数部分。有的功能指令只需要指定功能号，但更多的功能指令在指定功能号的同时还需要指定操作数。功能框的第二部分为操作数部分。操作数由“源操作数[S.]”、“目标操作数[D.]”和“数据个数 n”三部分组成。无论操作数有多少，其排列顺序总是源操作数、目标操作数、数据个数。数据个数 n 实际是源操作数和目标操作数的补充说明。在图 4.1 中的源操作数为 D0、D1、D2（D 的个数由 n 确定），n=K3 表示源操作数有 3 个；目标操作数为 D10。因为有的指令并不是直接给出数据，而给出的是存放操作数的地址，所以[S.]和[D.]也称源地址和目的地址。

2. 功能指令的通用表达形式及执行方式

功能指令的通用表达形式如图 4.2 所示。



图 4.2 功能指令的通用表达形式

图 4.2 中的前一部分表示功能指令的代码和助记符，如图中所示的数据传送指令 MOV；指令的代码为 12，MOV 为指令的助记符；图中（P）表示采用脉冲执行方式（Pulse），即在执行条件满足时仅在一个扫描周期内执行（默认状态为连续执行方式）。功能指令可以处理 16 位数据和 32 位数据，默认状态为 16 位数据。图中若有符号（D），则表示指令的数据为 32 位，如图 4.3 所示。

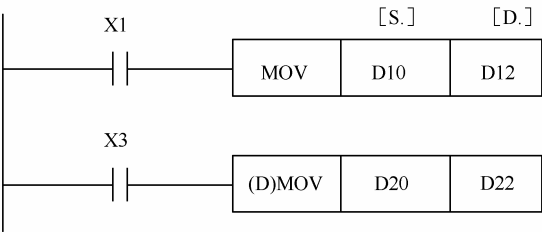


图 4.3 功能指令可处理 16 位指令和 32 位指令



在图 4.2 的后一部分中, [S.] 表示源操作数(Source), 当源操作数不止一个时, 可以用[S1.]、[S2.]表示; [D.]表示目标操作数(Destination), 当目标操作数不止一个时, 用[D1.]、[D2.]表示。当补充说明 n 不止一个时, 用 n1,n2……或 m1,m2……表示。这里要注意的是, X 不能作为目标操作数使用。

[S.]和[D.]中的符号“.”表示操作数可以使用变址方式。当 n 表示常数时, 用 K 表示十进制数, 用 H 表示十六进制数。

图 4.3 中的第一个梯级执行的是数据传送功能, 在满足执行条件 X1 为 ON 时, 将 D10 中的数据送到 D12 中, 处理的是 16 位数据。

图 4.3 中第二个梯级执行的是将 D21 和 D20 中的数据送到 D23 和 D22 中, 处理的是 32 位数据。指令中的符号(D)表示处理的是 32 位数据。处理 32 位数据时, 用元件号相邻的两个元件组成元件对, 元件对的首位地址用奇数和偶数均可以。建议元件对的首位地址统一用偶数编号, 例如 D10、D12 和 D20、D22 等。

4.1.2 功能指令的操作数及变址操作

1. 功能指令的操作数

可编程控制器的编程元件根据内部位数的不同, 可分为位元件和字元件。

位元件指用于处理 ON/OFF 状态的继电器, 其内部只能存一位数据 0 或 1, 例如输出继电器 Y 和一般辅助继电器 M。而字元件是由 16 位寄存器组成的, 用于处理 16 位数据, 如数据寄存器 D 和变址寄存器 V 和 Z 都是 16 位数据寄存器。常数 K、H 和指针 P 用于在 PLC 内存中存放的都是 16 位数据, 都是字元件。计数器 C 和定时器 T 也是字元件, 用于处理 16 位数据。

若要处理 32 位数据, 用两个相邻的数据寄存器就可以组成 32 位数据寄存器。一个位元件虽然只能表示一位数据, 但是可以采用 16 个位元件组合在一起, 作为一个字元件使用, 即用位元件组成字元件。

功能指令的助记符后面可以有 0~4 个操作数, 这些操作数主要有以下几种形式。

(1) 位元件: 如 X、Y、M 和 S;

(2) 常数 K、H 或指针 P;

(3) 字元件: 如 T、C 和 D 等;

(4) 位元件组合: 由位元件 X、Y、M 和 S 组合成的位元件组合, 作为字元件用于数据处理。

在 FX 系列 PLC 中, 使用 4 位 BCD 码表示一位十进制数据, 这样采用 4 个位元件, 就可以表示一个十进制数据, 所以在功能指令中, 是将位元件按 4 位一组的原则来组合的, 例如 KnSi、KnXi、KnYi、KnMi 等。

在 KnMi 中, n 表示组数, 规定一组有 4 个位元件, $4 \times n$ 为用位元件组成字元件的位数。K1 表示有 4 位, K2 表示 8 位, K4 表示 16 位; 进行 16 位数据处理时, 其数据可以是 4~16 位, 即用 K1~K4 表示。32 位数据操作时, 数据可以是 4~32 位, 则用 K1~K8 表示。

KnMi 的 i 为首位元件号, 即存放数据最低位的元件。



例如，K2M0 表示存放的数据为 8 位，即由 M7～M0 组成的 8 位数据，M0 是最低位。K4M10 表示由 M25 到 M10 组成的 16 位数据，M10 是最低位。K1Y0 表示数据为 4 位，由输出继电器 Y3～Y0 存放，Y0 是最低位。K3Y0 表示数据为 12 位，由输出继电器 Y13～Y10、Y7～Y0 存放。

2. 变址操作

变址寄存器 V 和 Z 都是 16 位寄存器，V 和 Z 一共有 16 个，分别为 V0～V7 和 Z0～Z7。

V 和 Z 除了和通用数据寄存器一样用做数据的读、写之外，主要还用于运算操作数地址的修改。在传送、比较等指令中用来改变操作对象的组件地址，变址方法是将 V、Z 放在各种寄存器的后面，充当操作数地址的偏移量。操作数的实际地址就是寄存器的元件号和 V 或 Z 内容相加的和。当源地址或目标地址寄存器用[S.]或[D.]表示时，可以进行变址操作。当进行 32 位数据操作时，要将 V、Z 组合成 32 位（V、Z）来使用，这时 Z 为低 16 位，V 为高 16 位。32 位指令中用到变址寄存器时只需指定 Z，这时 Z 就代表了 V 和 Z。在 32 位指令中，V、Z 自动组对使用。

在如图 4.4 所示的梯形图中，MOV 指令将 K10 送到 V，K20 送到 Z，显然 V、Z 的内容分别为 10、20。

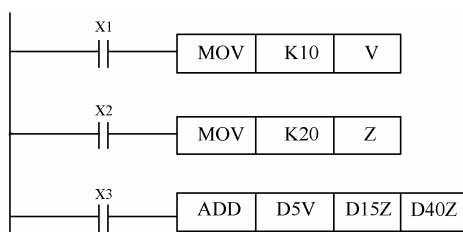


图 4.4 变址操作示例梯形图

第三个梯级为 (D5V) + (D15Z) → (D40Z)，即 (D15) + (D35) → (D60)。

又如：若 Z=4，则 D5Z=D9，T6Z=T10，K1Y0Z=K1Y4，K1S2Z=K1S6。可见 V 和 Z 变址寄存器的使用将使编程简单化。

3. 标志位

功能指令在操作过程中，其运算结果可以通过某些特殊辅助继电器或寄存器表示出来，通常称其为标志位。标志位可以分为一般标志位、运算出错标志位和功能扩展用标志位。

(1) 一般标志位。在功能指令操作中，其结果将影响下列标志位。

M8020：零标志，如运算结果为零时动作；

M8021：借位标志，如做减法运算时出现借位时动作；

M8022：进位标志位，如运算结果出现进位时动作；

M8029：指令执行结束标志。

(2) 运算出错标志位。如果在功能指令的结构、继电器元件及编号方面有错误；或在运算过程中出现错误时，下列标志位会动作，并同时记录出错信息。

M8067：运算出错标志；



M8068: 运算错误代码编号存储;

M8069: 错误发生的步序号记录存储。

PLC 由 STOP→RUN 时都是瞬间清除, 若出现运算错误, 则 M8068 保持动作, 而 D8068 中存储发生错误的步序号。

(3) 功能扩展用标志位。在部分功能指令中, 同时使用由功能指令确定的特殊辅助继电器, 可进行功能扩展。例如, M8160 为 XCH 交换; M8161 为 8 位处理模式。

4.2 程序流程控制指令

在 FX2N 系列 PLC 的功能指令中, 程序流程控制指令共有 10 条, 功能号是 FNC00~FNC09。在通常情况下, PLC 的控制程序是顺序逐条执行的, 但是在许多场合下却要求按控制要求改变程序的执行流程, 因此可采用流程控制指令来实现。

4.2.1 条件跳转指令

CJ (Conditional Jump) 条件跳转指令的操作功能: 当跳转条件成立时跳过一段程序, 跳转至指令中所标明的标号处执行, 被跳过的程序段中不执行的指令, 即使输入元件状态发生改变, 输出元件的状态也维持不变。若跳转条件不成立则按顺序执行程序。

如图 4.5 所示为跳转指令使用说明。当 X20=ON 时, 程序跳到标号 P10 处, 执行下面的程序; 如果 X20=OFF, 跳转不执行, 程序按原顺序执行。

在程序中两条跳转指令可以跳转到相同的标号处, 如图 4.6 所示为多路跳转说明。图中如果 X10 为 ON, 第一条跳转指令生效, 从这一步跳转到标号 P9 处。如果 X10 为 OFF, 而 X12 为 ON, 则第二条跳转指令生效, 程序由此处开始跳到标号 P9 处。

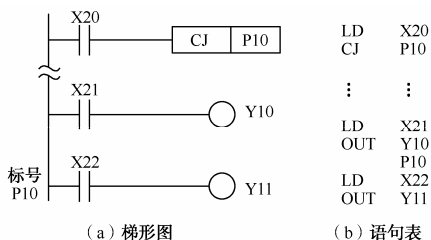


图 4.5 跳转指令的使用说明

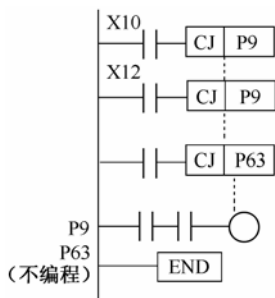


图 4.6 多路跳转说明

在使用跳转指令时应注意以下几点:

- (1) 在同一程序中一个标号只能使用一次, 不能在两处或多处使用同一标号。
- (2) CJ P63 指令专门用于程序跳转到 END 语句, 编程时标号不用输入。
- (3) 跳转指令的执行条件若是 M8000, 则为无条件跳转, 因为 PLC 运行时 M8000 为 ON。
- (4) 使用 CJ (P) 指令时, 跳转指令只执行一个扫描周期。



4.2.2 调用子程序指令

PLC 中的子程序是为一些特定控制目的而编制的相对独立的模块，供主程序调用。

调用子程序指令包括子程序调用指令 **CALL**（Sub Routine Call）和返回指令 **SRET**（Sub Routine Return）。

编程时子程序应写在主程序之后，即子程序的标号应写在主程序结束指令 **FEND** 之后，且子程序必须以 **SRET** 指令结束。如图 4.7 所示，当 **X0** 为 ON 时，**CALL P10** 指令使程序执行 **P10** 子程序，在子程序执行到 **SRET** 指令后程序返回到 **CALL** 指令的下一条指令处执行。若 **X0** 为 OFF，则程序按顺序执行。

在子程序中可以再次使用 **CALL** 子程序，形成子程序嵌套。子程序嵌套层数不能超过 5，如图 4.8 所示程序中 **CALL** 指令共有 2 层嵌套。

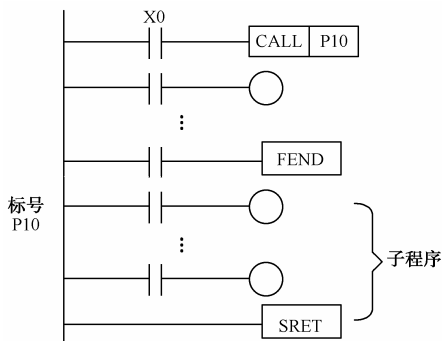


图 4.7 CALL 指令使用说明

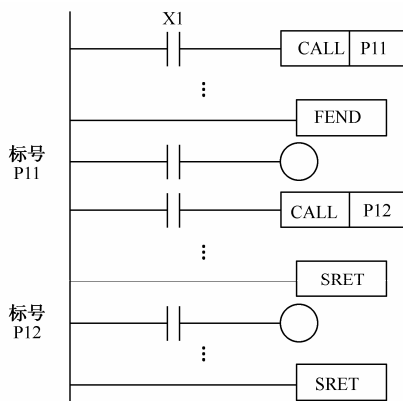


图 4.8 CALL 子程序嵌套示例图

4.2.3 中断指令

中断指令包括中断返回指令 **IRET**（Interruption Return）、允许中断指令 **EI**（Interruption Enable）、禁止中断指令 **DI**（Interruption Disable）。

中断是 CPU 与外设之间进行数据传送的一种方式。FX 系列 PLC 有两类中断，即外部中断和内部定时器中断。外部中断信号从输入端子输入，可用于机外突发随机事件引起的中断。定时中断是内部中断，是定时器定时时间到引起的中断。

FX 系列 PLC 设置有 9 个中断源，9 个中断源可以同时向 CPU 发出中断请求信号，这时 CPU 响应优先级较高的中断源的中断请求。9 个中断源的优先级由中断号决定，中断号小的优先级较高。每个中断源的中断子程序有中断标号。中断标号的格式如图 4.9 所示。

中断标号以 **I** 开头，又称为 **I** 指针。外部中断的 **I** 指针格式如图 4.9（a）所示，共 6 点，对应的外部中断信号的输入端口为 **X0**~**X5**。例如 **I001** 的含义是：当输入 **X0** 从 OFF 变为 ON（上升沿）时，执行由该指针作为标号的中断服务程序，在执行到 **IRET** 指令时返回。内部中断的 **I** 指针格式如图 4.9（b）所示，共 3 点。内部中断即定时中断，由指定编号为 6~8



的专用定时器控制。设定时间为 10~99ms，每隔设定时间 PLC 就会自动中断一次。

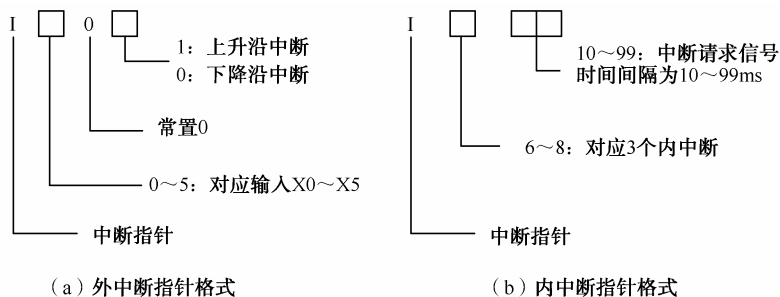


图 4.9 中断标号格式

PLC 一般处在禁止中断状态。指令 EI~DI 之间的程序段为允许中断区间，而 DI~EI 之间为禁止中断区间，如图 4.10 所示。当程序执行到允许中断区间并且出现中断请求信号时，PLC 执行相应的中断子程序，遇到中断返回指令 IRET 时返回断点处继续执行主程序；在此区间之外，即使有中断请求，CPU 也不会立即响应，而是将这个中断信号存储下来，并在 EI 指令之后被执行。

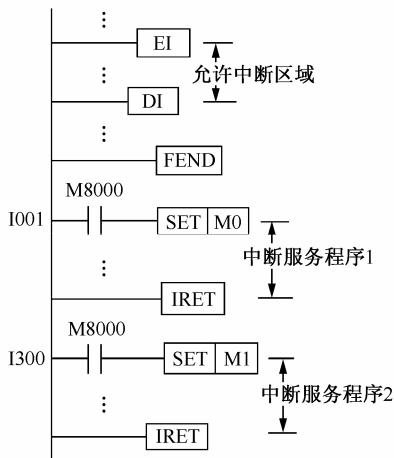


图 4.10 中断指令使用说明

在使用中断指令时应注意以下几点：

- (1) 当多个中断信号同时出现时，中断指针号小的具有优先权。
- (2) 中断子程序可以进行嵌套，最多可以两级。
- (3) 中断请求信号的宽度必须大于 200μs。
- (4) M8050~M8058 为中断屏蔽寄存器，当其为 ON 时，相应的中断源 0~8 被屏蔽。

4.2.4 主程序结束指令

FEND 指令表示主程序的结束，子程序的开始。

FEND 指令的操作功能为：在程序执行到 FEND 时，进行输出处理、输入处理、监视定



时器刷新，完成后返回第 0 步；子程序和中断服务程序都必须写在主程序结束指令 FEND 之后，子程序以 SRET 指令结束，中断服务程序以 IRET 指令结束，两者不能混淆；当程序中没有子程序或中断服务程序时，也可以没有 FEND 指令，但是程序的最后必须用 END 指令结尾，显然，子程序及中断服务程序必须写在 FEND 指令与 END 指令之间。

4.2.5 监视定时器指令

WDT 指令用于刷新顺序程序中的监视定时器。

PLC 在循环扫描执行程序时，利用内部定时器（监视定时器）监视执行用户程序的循环扫描时间，如果扫描的时间（从程序的第 0 步到 END 或 FEND 指令之间）超过了规定的时间（FX₂ PLC 为 100ms；FX_{2N} PLC 为 200ms）时，PLC 将停止工作，此时 CPU 的出错指示灯亮。

为防止执行顺序控制程序超时的情况发生，利用 WDT 指令在循环扫描执行程序中，刷新监视定时器。如图 4.11 所示，将 WDT 指令插到合适的程序步中及时刷新监视定时器，使顺序程序得以继续执行到 END 或 FEND。图 4.11（a）所示为将一个 240ms 的程序分成两个扫描时间为 120ms 的程序，在两个程序之间插入一条 WDT 指令。

监视定时器的时钟报警值 200ms 存储在特殊数据寄存器 D8000 中，它由 PLC 的监控程序写入，同时也允许用户改写 D8000 的内容。可以用功能指令 MOV 来改写 D8000 的内容，如图 4.11（b）所示，将监视定时器的报警数值改变为 300ms，在这之后的 PLC 程序将采用新的监视定时器时间执行监视。

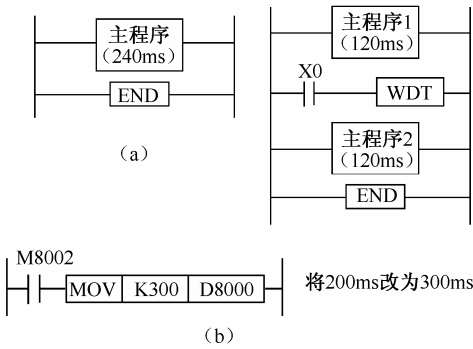


图 4.11 WDT 指令的使用

4.2.6 循环指令

循环指令包括循环开始指令 FOR 和循环结束指令 NEXT。

循环指令的操作功能为：控制 PLC 反复执行某一段程序，只要将这段程序放在 FOR、NEXT 之间，待执行完指定的循环次数后（由操作数指定），才能执行 NEXT 指令后的程序。

循环指令的操作方法：

（1）FOR 与 NEXT 指令要求成对使用，FOR 在前，NEXT 在后。



- (2) FOR、NEXT 循环指令最多可以嵌套 5 层，如图 4.12 所示为三重循环。
- (3) 利用 CJ 指令可以跳出 FOR、NEXT 循环体。

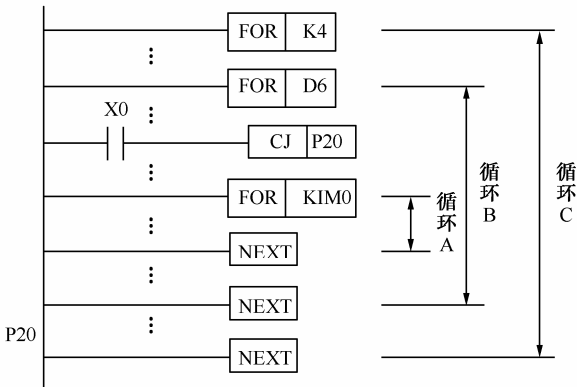


图 4.12 FOR、NEXT 指令

4.3 传送和比较指令

4.3.1 比较指令和区间比较指令

1. 比较指令CMP

比较指令 CMP（Compare）的操作功能：将两个源操作数[S1.]、[S2.]的数据进行比较，并将比较结果送到目标操作数[D.]中。

如图 4.13 所示为比较指令的使用说明。在 X0 为 OFF 时，不执行 CMP 指令，M0、M1、M2 的状态保持不变；当 X0 为 ON 时，将两个源操作数[S1.]、[S2.]中的数据进行比较，即 K100（十进制数 100）与 T20 的当前值比较。若 T20 的当前值小于 100，则 M0 为 ON，Y0 得电；若 T20 的当前值等于 100，则 M1 为 ON，Y1 得电；若 T20 的当前值大于 100，则 M2 为 ON，Y2 得电。

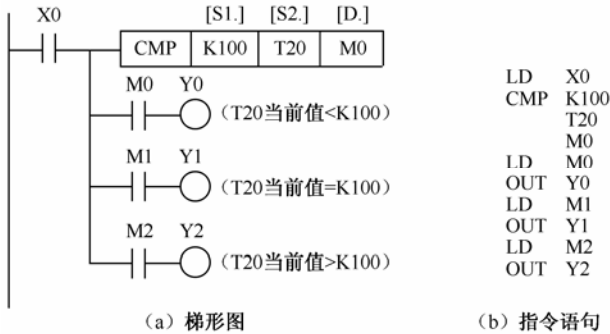


图 4.13 比较指令的使用说明



在使用比较指令时应注意以下几点：

- (1) 比较指令的数据均为二进制数，且带符号位比较。
- (2) 要清除比较结果时，需采用 **RST** 和 **ZRST** 指令。

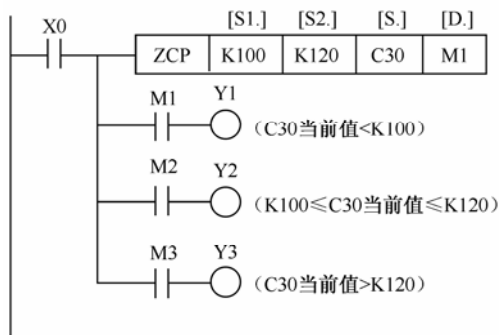
比较指令的应用示例如图 4.14 所示。图 4.14 中的梯形图采用比较指令实现监视计数值的功能。Y10 按照 1s 脉冲频率做 ON/OFF 交替变化，为秒脉冲输出指示，同时还给计数器 C0 提供计数脉冲信号。

当 X10 为 ON 时，若计数器的当前值小于 10 时，Y0 有输出；当计数器的当前值等于 10 时，Y1 有输出；当计数器的当前值大于 10 时，Y2 有输出；当计数器的当前值为 15 时，Y3 和 Y2 均有输出，由于采用 Y3 的动合触点给计数器复位，所以 Y3 线圈的得电时间仅为一个扫描周期。

2. 区间比较指令 ZCP

区间比较指令 **ZCP** 的操作功能：将一个操作数[S.]与两个操作数[S1.]、[S2.]形成的区间比较，并将比较结果送到[D.]中。

如图 4.15 所示为区间比较指令的使用说明。当 X0 为 ON 时，将计数器 C30 的当前值与 K100 和 K120 比较，若 C30 的当前值小于 100，则 M1 为 ON，Y1 得电；若 C30 的当前值大于等于 100 并小于等于 120 时，则 M2 为 ON，Y2 得电；若 C30 的当前值大于 120，则 M3 为 ON，Y3 得电。



(a) 梯形图

```
LD X0
ZCP K100 K120 C30 M1
LD M1
OUT Y1
LD M2
OUT Y2
LD M3
OUT Y3
```

(b) 指令语句

图 4.15 区间比较指令使用说明

在使用区间比较指令时应注意以下几点：

- (1) 区间比较指令比较的数据均为二进制数，且带符号位。
- (2) 设置比较区间时，要求[S1.]不得大于[S2.]。

区间比较指令应用示例如图 4.16 所示。图 4.16 中的梯形图采用区间比较指令实现监视计数值的功能。特殊辅助继电器 M8013 为 1s 时钟继电器，给计数器提供计数脉冲信号。当 X10 为 ON 时，计数器 C1 的当前值和输出端 Y 的关系为：

- ① C1 的当前值小于 10 时，Y0 有输出；
- ② C1 的当前值大于等于 10 且小于等于 20 时，Y1 有输出；

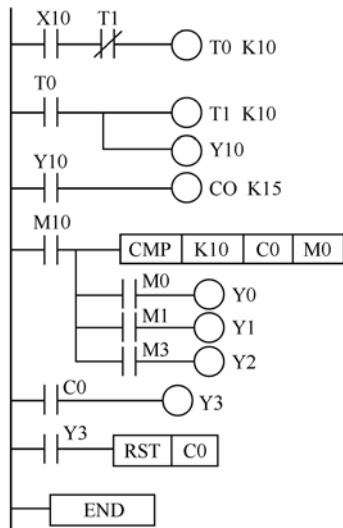


图 4.14 比较指令的应用示例

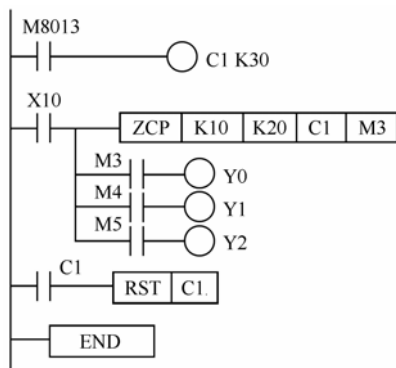


图 4.16 区间比较指令的应用示例

③ C1 的当前值大于 20 时，Y2 有输出。

当计数器的当前值为 30 时，C1 复位。在下一个扫描周期，PLC 又开始循环工作。Y0、Y1、Y2 为 ON 的状态均为 10s。

4.3.2 传送指令

1. 传送指令MOV

MOV 指令的操作功能为：将源地址中的数据传送到目的地址中。如图 4.4 所示为 MOV 指令的示例梯形图。如图 4.17 所示为 MOV 指令的应用，其中图 4.17 (a) 采用 MOV 指令将定时器 T10 的当前值送到 PLC 的输出端口，图 4.17 (b) 采用 MOV 指令改变定时器 T0 的设定值，这两种方法同样可以用于计数器。

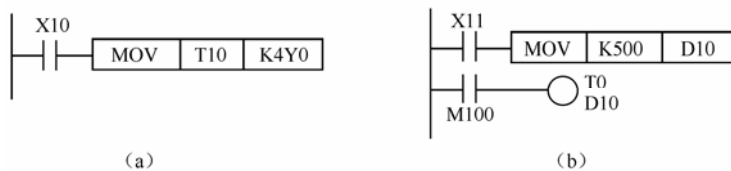


图 4.17 MOV 指令的应用

如图 4.18 所示为采用 MOV 指令实现电动机的 Y-△减压起动控制的应用实例，I/O 地址分配如表 4.1 所示。梯形图程序的控制功能分析：起动按钮闭合（X0=ON）时，第一个梯级执行，将 K3（0011）送到输出端 Y3Y2Y1Y0，由于 Y0=Y1=ON，所以 KM1 和 KM2 得电，电动机绕组按 Y 形连接且接通电源起动运转，同时 Y0 动合触点闭合使定时器 T0 得电开始延时。当 6s 延时时间到，电动机的转速已上升到接近额定转速时，PLC 执行程序将 K5（0101）送到 Y3Y2Y1Y0，此时 Y0、Y2 为 ON 状态，Y2 控制 KM3 得电，即电动机的绕组被接成△形，实现 PLC 控制电动机处于△形连接方式运行，完成了电动机的 Y-△起动方式。当闭合停止按钮（X1 为 ON）或电动机超载（X2 为 ON）时，PLC 执行程序将 K0（0000）送到 Y3Y2Y1Y0，此时 Y0~Y2 全部为 OFF 状态，电动机则停止运行。

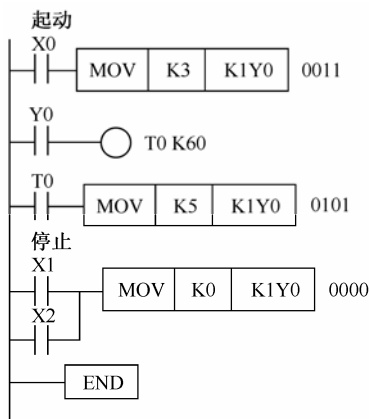


图 4.18 MOV 指令的应用实例

表 4.1 I/O 地址分配

输 入 地 址		输 出 地 址	
X0	起动按钮 SB1	Y0	KM1（电动机电源）
X1	停止按钮 SB2	Y1	KM2（星形连接）
X2	热继电器 FR	Y2	KM3（三角形连接）

2. 块传送指令BMOV

块传送指令 BMOV（Block Move）的操作功能：将数据块（由源地址指定元件开始的 n 个数据组成）传送到指定的目的地址中，n 只能取常数 K、H。如果地址超出允许的范围，数据仅传送到允许范围的目的地址中。

（1）数据寄存器间的数据块传送。如图 4.19（a）所示为数据块在数据寄存器间的传送，当 X10 为 ON 时，执行块传送指令，根据 K3 指定的数据块个数为 3，将 D2~D0 中的内容传送到 D12~D10 中去，如图 4.19（b）所示为块传送指令的操作功能。传送后 D2~D0 中的内容不变，而 D12~D10 中的内容相应地被 D2~D0 的内容取代。

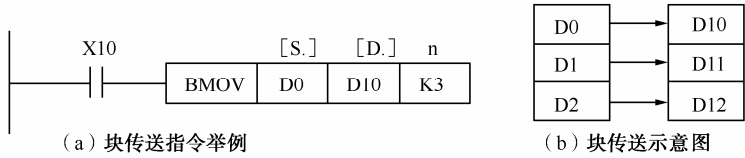


图 4.19 数据块在数据寄存器间的传送

（2）用位元件组合传送数据块。如图 4.20 所示为用位元件组合传送数据块应用示例。当 X0 为 ON 时，将 M7~M4、M3~M0 中的数据相对地传送到 Y7~Y4 和 Y3~Y0，K1 表示数据是 4 位，补充说明 n 为 K2 表示是两块数据的传送。

3. 多点传送指令FMOV

多点传送指令 FMOV（Fill Move）的操作功能：将源地址中的数据传送到指定目标开始的 n 个元件中，这 n 个元件中的数据完全相同，指令中给出的是目标元件的首地址。如果元



件号超出允许的范围，数据仅传送到允许范围的元件中。常用于对某一段数据寄存器的清零或置相同的初始值。

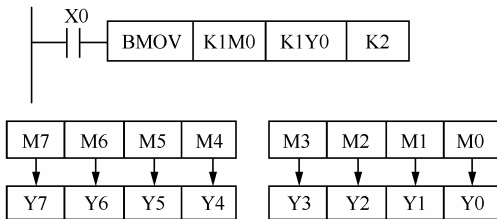


图 4.20 用位元件组合传送数据块

如图 4.21 所示为多点传送指令的使用说明。当 $X10=ON$ 时执行多点传送指令，根据 $K3$ 指定的目标元件个数为 3，将 $K0$ 传送到 $D12\sim D10$ 中去，传送后 $D12\sim D10$ 中的内容被 $K0$ 取代。

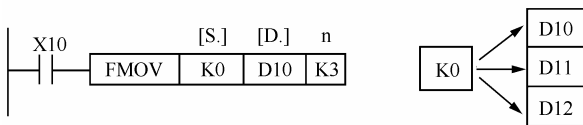


图 4.21 多点传送指令的使用说明

图 4.22 为数据传送指令 MOV、BMOV、FMOV 指令的应用示例。假设 PLC 的输入端 $K4X0$ ($X17\sim X10$, $X7\sim X0$) 的 16 位输入状态为 00001000 11110000。在输入 $X20=ON$ 执行 MOV 指令后，将 $K2X0$ ($X7\sim X0$) 的状态传送给 $K2Y0$ ，即 $Y7\sim Y0$ 的状态为 11110000。

在 $X21=ON$ 时，执行 BMOV 块传送指令将数据块 $K2X10$ 、 $K2X0$ 分别传送到 $K2Y10$ 和 $K2Y0$ ，即 $K2Y10$ 状态为 00001000， $K2Y0$ 的状态为 11110000。

在 $X22=ON$ 时，执行 FMOV 多点传送指令将 $K2X0$ 的状态同时传送到 $K2Y10$ 和 $K2Y0$ ，即 $K2Y10$ 和 $K2Y0$ 均为 11110000。

如图 4.23 所示为彩灯循环控制梯形图。图中采用 4s 脉冲发生器和 MOV 指令实现对彩灯的控制，即 8 个彩灯按照 2s 频率隔灯交替点亮。 $X0$ 为起动开关，当 $X0=ON$ 时，连接在输出端 $Y7\sim Y0$ 的 8 个彩灯，实现隔灯显示，每 2s 交换一次，反复运行。因为 $K85$ 和 $K170$ 在 PLC 内部是两组状态 (0, 1) 完全相反的二进制数码，所以执行 MOV 指令后，可以实现隔灯显示的功能。

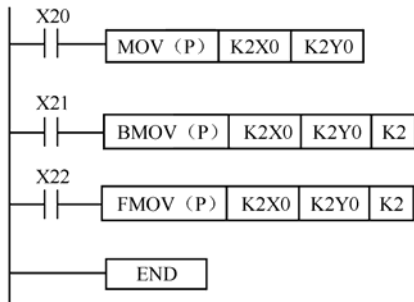


图 4.22 数据传送的应用示例

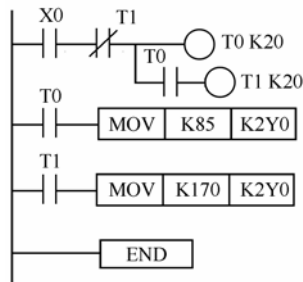


图 4.23 彩灯循环控制梯形图



4.3.3 BCD和BIN变换指令

1. BCD变换指令

BCD 变换指令的操作功能：将源地址中的二进制数转换为 BCD 码并送到目标地址中。
如图 4.24 所示为 BCD 变换指令的使用说明。当 X10 为 ON 时，执行 BCD 变换指令，将 D10 中的二进制数转换为 BCD 码，然后将其低 8 位（由 K2 指明）的内容送到 Y7~Y0 中去。

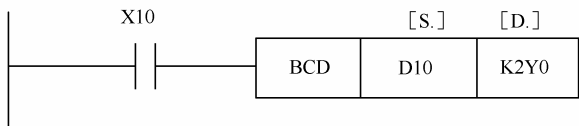


图 4.24 BCD 变换指令的使用说明

2. BIN变换指令

BIN 变换指令的操作功能：将源地址中的 BCD 码转换为二进制数并送到目的地址中。
此指令的功能与 BCD 变换指令相反。

如图 4.25 所示为 BIN 变换指令使用说明，这条指令可以将 BCD 拨盘的设定值通过 X7~X0 输入到 PLC 中去。当 X10 为 ON 时，执行 BIN 变换指令，将 X7~X0 端口上输入的两位 BCD 码转换成二进制数，传送到 D10 的低 8 位中。

如图 4.26 所示为 BIN、BCD 指令和变址寄存器的应用示例。图中利用特殊辅助继电器 M8000，在 PLC 上电后首先将输入端 X3~X0 输入的 BCD 码转换成二进制数据送到变址寄存器 Z0，采用 Z0 对定时器 T0 实现变址功能(T0Z0)，当改变输入端 X3~X0 的状态从 0000~1001（0~9）变化时，可以将 T0~T9 的当前值转换成 BCD 码后由 Y17~Y0 输出。

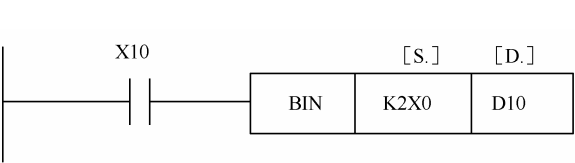


图 4.25 BIN 变换指令的使用说明

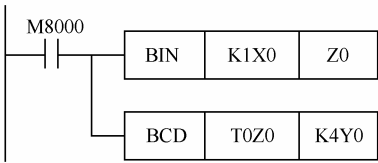


图 4.26 BIN、BCD 指令和变址寄存器的应用示例

4.4 算术运算和逻辑运算指令

FX 系列 PLC 设置了 10 条算术和逻辑运算指令，其功能号是 FNC20~FNC29。在这些指令中，源操作数可以取所有的数据类型，目标操作数可以取 KnY、KnM、KnS、T、C、D、V 和 Z。

每个数据的最高位为符号位（0 表示为正，1 表示为负）。在 32 位运算中被指定的字编程元件为低位字，紧挨着的下一个字编程元件为高位字。为了避免错误，建议指定操作元件



时采用偶数元件号。

若运算结果为 0，零标志 M8020 置 1；16 位运算结果超过 32 767 或 32 位运算结果超过 2 147 483 647，进位标志 M8022 置 1；16 位运算结果小于-32 768 或 32 位运算结果小于 -2 147 483 648，借位标志 M8021 置 1。

如果目标操作数（例如 K1M0）的位数小于运算结果（如 D10）中的位数，将只保存运算结果的低位（4 位）。

4.4.1 算术运算指令

算术运算指令包括 ADD、SUB、MUL、DIV（二进制加、减、乘、除）指令。

1. 加法指令ADD

二进制加法指令 ADD（Addition）的操作功能：将两个源地址中的二进制数相加，结果送到指定的目的地址中。如图 4.27 所示为算术运算指令的使用说明，图中的 X0=ON 时，连续执行（D10）+（D12）→（D14）的操作功能。

2. 减法指令SUB

二进制减法指令 SUB（Subtraction）的操作功能：将两个源地址中的二进制数相减，结果送到指定的目的地址中。图 4.27 中的 SUB 指令采用脉冲执行方式，在 X1 为 ON 时，执行一次（D0）-K22（十进制数 22）→（D10）。

3. 乘法指令MUL

二进制乘法指令 MUL（Multiplication）的操作功能：将两个源地址中的二进制数相乘，结果（32 位）送到指定的目的地址中。图 4.27 中的 X2=ON 时，连续执行（D0）×（D2）→（D5、D4）的操作功能，乘积的低 16 位数据送到 D4 中，高 16 位数据送到 D5。

如果该条指令为：（D）MUL（P）D10 D12 D14；其操作功能为：采用脉冲执行方式执行（D11，D10）×（D13，D12）→（D17，D16，D15，D14）。

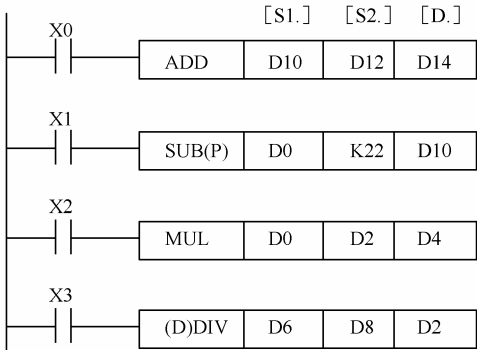


图 4.27 算术运算指令的使用说明



4. 除法指令（DIV）

二进制除法指令（DIV）（Division）的操作功能：将[S1.]除以[S2.]，商送到指定的目标地址中，余数送到[D.]的下一个元件。图 4.27 中的 X3=ON 时，连续执行 32 位除法运算功能： $(D7、D6) \div (D9、D8)$ ，商送到 $(D3、D2)$ ，余数送到 $(D5、D4)$ 。如果该条指令不是 32 位操作，其指令的形式为：DIV D2 D4 D6，执行 16 位二进制数的除法操作，即 $(D2) \div (D4)$ 并将商送到 D6、余数送到 D7 中。

4.4.2 加 1、减 1 指令

1. INC加 1 指令

加 1 指令（Increment）的操作功能为：满足执行条件时，（D）中的内容自动加 1。

2. DEC减 1 指令

减 1 指令（Decrement）的操作功能为：满足执行条件时，（D）中的内容自动减 1。这两条指令的运算结果不影响零标志、借位标志和进位标志。

如图 4.28 所示为二进制加 1、减 1 指令的使用说明。图中加 1、减 1 指令均采用脉冲执行方式，当 X4 每次由 OFF 变为 ON 一次，D10 中的数增加 1。当 X1 每次由 OFF 变为 ON 一次时，D11 中的数减 1。如果不用脉冲指令，则每一个扫描周期都要执行一次加 1、减 1 指令。

如图 4.29 所示的梯形图可以实现监视 C0~C9 的当前值的功能。用寄存器的变址功能（变址寄存器 Z）、加 1 指令实现 C0~C9 地址的自动切换，用比较指令控制被监视的最后一个计数器是 C9。

当 X10=ON 时，将十进制数 0 送到变址寄存器中，采用脉冲执行方式对 Z 复位（清零）一次。在 X11 第一次为 ON 时，将 C0（Z=0）的当前值转换 BCD 码到 Y17~Y0 端输出，随后 Z 中内容自动加 1，接着执行一次比较指令。在 X11 第二次为 ON 时，将 C1（此时由于 Z=1，C0 变址为 C1）的当前值转换成 BCD 码送到 Y17~Y0 端输出，以后每当 X11 由 OFF 到 ON 变化一次时，都依次将 C0，C1，C2……C9 的当前值输出到 Y 端，一直到 Z=10 时，比较器结果使 M1=ON，将 Z 再清零一次，又回到初始状态，在 X11 为 ON 时继续执行上述的操作功能。

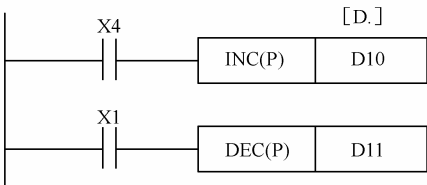


图 4.28 加 1、减 1 指令的使用说明

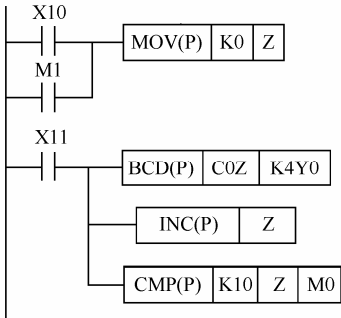


图 4.29 监视 C0~C9 当前值的梯形图



4.4.3 字逻辑运算指令

1. 字逻辑与指令WAND

字逻辑与指令的操作功能为：将指定的两个源地址中的二进制数按位进行与逻辑运算，结果送到指定的目标地址中。

如图 4.30 所示为字逻辑运算指令的示例梯形图。若 D10 中的数据为 0000000011111111，D20 中的数据为 1111111100000000，满足 X10 为 ON 时，执行 WAND 字逻辑与运算指令后，D30 中的数据为 0000000000000000。

2. 字逻辑或指令WOR

字逻辑或指令的操作功能为：将指定的两个源地址中的二进制数按位进行或逻辑运算，结果送到指定的目的地址中。

在图 4.30 的梯形图中，若 D1 中的数据为 0000000011111111，D2 中的数据为 1111111100000000，在 X1 为 ON 时，执行 WOR 指令后，D3 中的数据为 1111111111111111。

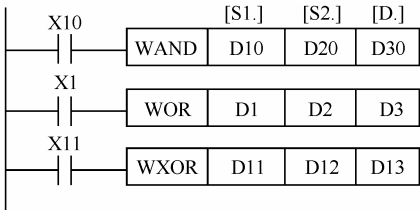


图 4.30 字逻辑运算指令的示例梯形图

3. 字逻辑异或指令WXOR

字逻辑异或指令的操作功能为：将指定的两个源地址中的二进制数按位进行异或逻辑运算，结果送到指定的目标地址中。

在如图 4.30 所示的梯形图中，若 D11 中的数据为 0000000011111111，D12 中的数据为 1111111100000000，在 X11 为 ON 时，执行 WXOR 指令后，D13 中的数据为 1111111111111111。

4.5 位元件移位指令

位元件移位指令只对位元件进行操作，即源操作数和目的操作数只能是位元件，其中，源操作数可以取 X、Y、M 和 S，目标操作数可以取 Y、M 和 S。

4.5.1 位元件右移位指令SFTR

如图 4.31 和图 4.33 所示为位右移位和位左移位指令示例梯形图，其中：



- (1) [S.]为移位的源位元件首地址，[D.]为移位的目标位元件首地址。
- (2) n1 为[D.]的补充说明，即说明目标位元件组的长度（个数）。
- (3) n2 为[S.]的补充说明，为源元件个数（也是目标位元件移动的位数）。
- (4) n1 和 n2 只能是常数 K 和 H，且要求 $n2 \leq n1 \leq 1024$ 。

位元件右移位指令 **SFTR** (Shift Right) 指令的操作功能为：将 n1 个目标位元件中的数据向右移动 n2 位，n2 个源位元件中的数据被补充到空出的目标位元件中。如图 4.32 所示为右移位指令执行过程示意图。

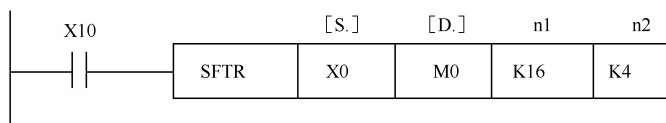


图 4.31 位右移位指令示例梯形图

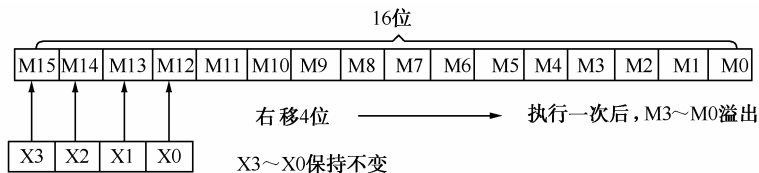


图 4.32 位元件右移位指令执行过程示意图

4.5.2 位元件左移位指令SFTL

如图 4.33 所示为位左移位指令示例梯形图，位左移位指令 **SFTL** (Shift Left) 指令的操作功能为：将 n1 个目标位元件中的数据向左移动 n2 位，n2 个源位元件中的数据被补充到空出的目标位元件中。

在图 4.33 中，如果 X10 为 ON，则执行位左移位指令，目标位元件组 M15~M0 (n1 为 16) 中的 16 位数据将左移 4 位 (n2 为 4)，M15~M12 从高位端移出，X3~X0 中的 4 位数据将被传送到 M3~M0，所以 M15~M12 中原来的内容将会丢失，但源位元件 X3~X0 的内容保持不变。位元件左移位指令的执行过程如图 4.34 所示。

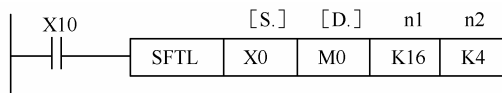


图 4.33 位左移位指令示例梯形图

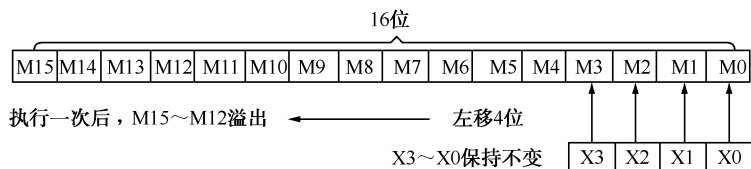


图 4.34 位元件左移位指令执行过程示意图



4.6 数据处理指令

4.6.1 区间复位指令ZRST

区间复位指令 ZRST（Zone Reset）的操作功能：将[D1.]~[D2.]指定的元件号范围内的同类元件成批复位，如图 4.35 所示为区间复位指令 ZRST 的使用说明。图中，在 PLC 上电后的第一个扫描周期内，利用 M8002 的初始化脉冲信号，给指定范围的数据寄存器、计数器及辅助继电器全部复位为零状态。

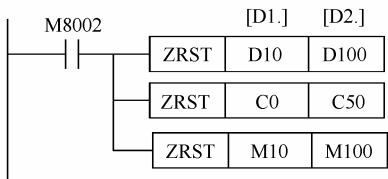


图 4.35 区间复位指令 ZRST 的使用说明

在使用 ZRST 指令时应注意以下几点：

- (1) [D1.]的元件号应小于[D2.]的元件号。如果[D1.]的元件号大于[D2.]的元件号，则只有[D1.]指定的元件被复位。
- (2) 目标操作数可以取 T、C 和 D，或 Y、M 和 S，但[D1.]和[D2.]应为同一类型的元件。
- (3) 虽然 ZRST 指令是 16 位数据处理指令，但[D1.]和[D2.]也可以指定 32 位计数器。
- (4) 可用于元件复位或清零的指令，还有 FMOV 和 RST 指令，其使用方法如图 4.36 所示。

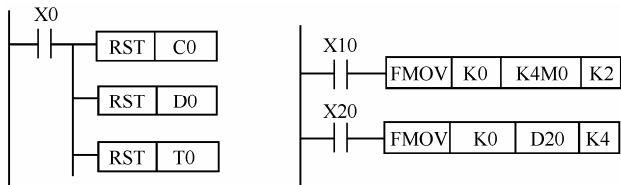


图 4.36 其他复位指令的应用实例

4.6.2 解码和编码指令

1. 解码指令DECO

解码指令 DECO 的操作功能为：根据 n 位输入状态，解码后将 2^n 个目标元件的指定位置 1，其余位置 0。解码指令的操作规则与数字电路中的状态译码器（如 3/8 译码器等）相同。如图 4.37 所示为解码指令 DECO 的示例梯形图及解码操作规则说明。

在图 4.37 中，当 X10 为 ON 时，执行解码操作，由源操作数 X0 和补充说明 K3 指定输入位为 X2~X0。若 X2~X0 的状态为 011，相当于十进制数 3 ($2^1+2^0=3$)，由目标操作数



M7~M0 组成的 8 位二进制数的第 3 位（M0 为第 0 位）M3 被置为 1，其余位为 0。如果源操作数 X2~X0 全部为 0，则 M0 被置为 1。

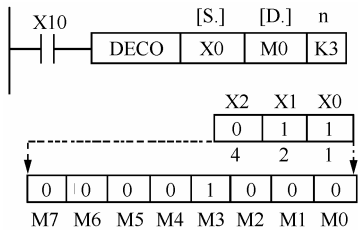


图 4.37 解码指令 DECO 的示例梯形图及操作规则说明

DECO 指令使用注意：

- (1) 若目标操作数是位元件时，要求源组件的位数 $1 \leq n \leq 8$ 。
- (2) 若目标操作数是字元件时，由于 T、C、D 都是 16 位的，所以要求 $1 \leq n \leq 4$ 。

2. 编码指令 ENCO

编码指令 ENCO 的操作功能为：根据 2^n 个输入位的状态进行编码，将结果存放到目标元件中。若指定的源元件中为 1 的位不止一个时，则只有最高位的 1 有效。如图 4.38 所示为编码指令 ENCO 的示例梯形图及编码操作规则说明。

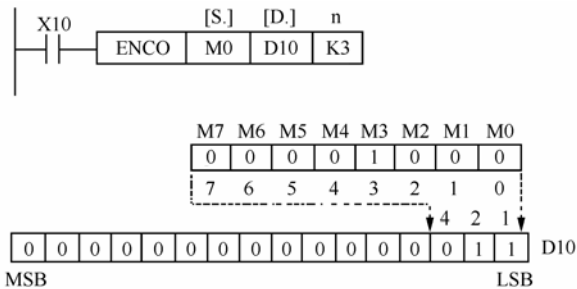


图 4.38 编码指令 ENCO 的示例梯形图及操作规则说明

在图 4.38 中，当 X10 为 ON 时，执行编码操作，编码操作功能是将源元件 M7~M0 ($2^n=8$, $n=3$) 的状态（M3 为 1），编码为 3 位二进制数 011，并送到目标元件 D10 的低 3 位。若在此例中 M0 为 1，则执行编码指令后，D10 中的数据为 0。当 M7~M0 的状态出现全部为 0，被视为运算错误。

解码/编码指令使用注意：

- (1) 指令的源操作数和目标操作数可以是位元件，也可以是字元件。
- (2) 当 $n=0$ 时，不处理。
- (3) 当执行条件为 OFF 时指令不执行，解码/编码指令的输出保持不变。

4.6.3 平均值指令 MEAN

求平均值指令 MEAN 的操作功能为：计算 n 个源操作数的平均值，结果送到目标元件中。



其中，源操作数可以取 KnX、KnY、KnM、KnS、T、C 和 D，目标操作数可以取 KnY、KnM、KnS、T、C、D、V 和 Z，n 可以取 1~64。

平均值指令 MEAN 的示例梯形图如图 4.1 所示。在图 4.1 中，当 X0 为 ON 时，执行 MEAN 指令，取出 D0~D2 的连续 3 个数据寄存器中的内容，求出其算术平均值后送入 D10 寄存器中。

4.7 脉冲输出指令

4.7.1 脉冲输出指令 PLSY

脉冲输出指令 PLSY（Pulse Output）的操作功能为：按设定的频率输出指定数量的脉冲。其中，[S1.]指定脉冲频率（2~20 000Hz）；[S2.]指定产生脉冲的数量，若指定脉冲数为 0，则持续产生脉冲；[D.]指定脉冲输出元件号（Y0 或 Y1）。脉冲以中断方式输出，占空比为 50%。指定脉冲输出完成后，指令执行完成标志 M8029 置 1。

PLSY 指令的示例梯形图如图 4.39 所示。图中，当 X10 为 ON 时，执行 PLSY 指令，若 D0 中的数值为 2 000，则输出继电器 Y0 输出频率为 1 000Hz 的脉冲共 2 000 个。脉冲输出结束后，指令执行完成标志 M8029 置 1；当驱动条件 X10 变为 OFF 时，M8029 复位。

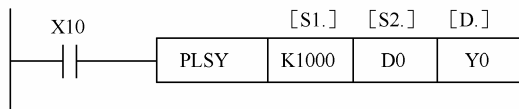


图 4.39 PLSY 指令的示例梯形图

4.7.2 脉宽调制指令 PWM

脉宽调制指令 PWM（Pulse Width Modulation）用于产生指定脉冲宽度和周期的脉冲串。其中，[S1.]用来指定脉冲宽度（1~32 767ms）；[S2.]用来指定脉冲周期（1~32 767ms），[S1.]应小于[S2.]；[D.]用来指定输出脉冲的元件号（Y0 或 Y1）。

如图 4.40 所示为 PWM 指令的示例梯形图。图中 X10 为执行条件，若 D10 中的脉宽数从 0~50 变化时，则输出继电器 Y0 输出的脉冲的占空比从 0~1 变化，而且 Y0 的输出是以中断方式进行的。如果指令执行途中 X10 变为 OFF，Y0 也立即变为 OFF，输出立即停止。

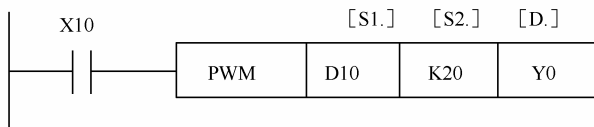


图 4.40 PWM 指令的示例梯形图



4.8 方便指令

4.8.1 置初始状态指令IST

置初始状态指令 IST (Initial State) 与 STL 指令一起使用, 用于自动设置多种工作方式的顺序控制编程。

IST 指令的示例梯形图如图 4.41 所示。图中, PLC 上电后, M8000 接通, 执行 IST 指令。指令指定自动方式中用到的最小状态号为 S20, 最大状态号为 S29。从 X10~X17 输入点的功能是固定的。

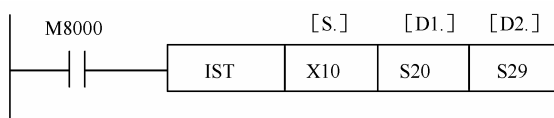


图 4.41 IST 指令的示例梯形图

IST 指令使用注意:

(1) 实际设计程序时, 根据需要确定步状态继电器的使用范围。对于 X 的编号, 只要首位元件号确定后, 首位元件号后面的 8 个连续元件号以及它们的功能也就确定了。IST 指令的应用示例参见第 7 章中机械手的控制程序。

(2) IST 指令必须写在第一个 STL 指令出现之前, 且该指令在一个程序中只能使用一次。

4.8.2 交替输出指令ALT

交替输出指令 ALT (Alternate) 的目标操作数 [D.] 可以取 Y、M、S, 只有 16 位运算。

ALT 指令的示例梯形图如图 4.42 所示。图中, 每当 X0 由 OFF 变为 ON 时, Y0 的状态就改变一次, 若不用脉冲执行方式, 每个扫描周期 Y0 的状态都要改变一次。使用 ALT 指令, 用 1 个按钮 X0 就可以控制 Y0 对应的外部负载的起动和停止。

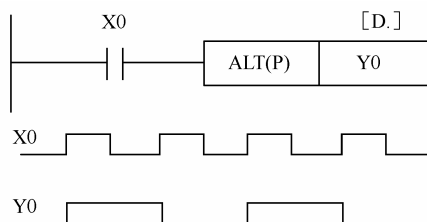


图 4.42 ALT 指令的示例梯形图

4.9 外部设备指令

4.9.1 串行通信指令RS

串行通信指令 RS 是通信使用的功能板发送和接收串行数据的指令。[S.] 和 m 用于指定发送数据缓冲区的首位地址和数据寄存器的个数, [D.] 和 n 用于指定接收数据缓冲区的首位地



址和数据寄存器的个数。数据的传送格式包括数据位数、奇偶校验位、停止位、波特率、是否有调制解调等，数据可以采用初始化脉冲和 MOV 指令写入串行通信的特殊数据寄存器 D8120，详细内容可参见 FX 编程手册。如图 4.43 所示为串行通信指令的示例梯形图。

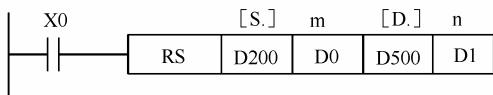


图 4.43 串行通信指令的示例梯形图

4.9.2 并行数据传送指令

PRUN 指令利用 PLC 的并行链接适配器，把源数据传送到指定的位元件区域，由专用标志 M 控制数据传送。当两台 FX PLC 已经链接，主站的标志 M8070 和从站的标志 M8071 都为 ON 时，并行链接通信将自动进行，从站不需要为通信使用 PRUN 指令。主站和从站都有一台 PLC，主站和从站中应分别用 M8000 的动合触点驱动 M8070 和 M8071 的线圈。一旦设置了标志，这些内容只能在 PLC 进入 STOP 工作方式或上电时被清除。

如图 4.44 所示为并行数据传送指令的示例梯形图，X10 为指令的执行条件，当 X10=ON 时，PRUN 指令将数据送入位发送区或从位接收区读出。传送时位元件的地址为八进制数。图 4.44 表示用 PRUN 指令将 16 个输入点 K4X0 表示的数据送给发送缓冲区中的 K4M0。

4.9.3 七段译码指令

七段译码指令 SEGD 用于控制一位七段数码管，其使用示例如图 4.45 所示。SEGD 的操作功能为：将源操作数的低 4 位二进制数（1 位十六进制数）译码后送至目标操作数。在图 4.45 中当 X10 为 ON 时，将 D0 中的低 4 位二进制数译为七段码送到 Y7~Y0 端。

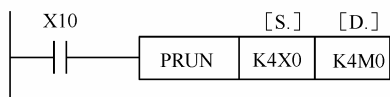


图 4.44 并行数据传送指令的示例梯形图



图 4.45 七段译码指令的示例梯形图

4.9.4 比例积分微分指令

PID（比例积分微分）指令用于模拟量的闭环控制，PID 指令的使用方法在第 7 章中介绍。

4.10 功能指令汇总表

功能指令汇总表如表 4.2 所示。



表 4.2 功能指令汇总表

分类	代码 FNC	助记符	操作功能	操 作 数			
				[S.]	[D.]	n	m
程 序 流 程 控 制	00	CJ	跳转	—	P0~P127	—	—
	01	CALL	调用子程序	—	P0~P127	—	—
	02	SRET	子程序返回	—	—	—	—
	03	IRET	中断返回	—	—	—	—
	04	EI	允许中断	—	—	—	—
	05	DI	禁止中断	—	—	—	—
	06	FEND	主程序结束	—	—	—	—
	07	WDT	监视定时器	—	—	—	—
	08	FOR	循环开始	K、H、KnX、KnY、KnM、 KnS; T、C、D、V、Z	—	—	—
	09	NXT	循环结束	—	—	—	—
数 据 传 送 和 比 较	10	CMP	比较	K、H、KnX、KnY、KnM、 KnS; T、C、D、V、Z	Y、M、S 3 个连续的 元件	—	—
	11	ZCP	区间比较	K、H、KnX、KnY、KnM、 KnS; T、C、D、V、Z	Y、M、S 3 个连续的 元件	—	—
	12	MOV	传送	K、H、KnX、KnY、KnM、 KnS; T、C、D、V、Z	KnY、KnM、KnS; T、C、D、V、Z	—	—
	13	SMOV	移位传送	K、H、KnX、KnY、KnM、 KnS; T、C、D、V、Z	KnY、KnM、KnS; T、C、D、V、Z	K、H 有效范围 1~4	
	14	CML	求反传送	K、H、KnX、KnY、KnM、 KnS; T、C、D、V、Z	KnY、KnM、KnS; T、C、D、V、Z	—	—
数 据 传 送 和 比 较	15	BMOV	数据块传送	KnX、KnY、KnM、KnS; T、C、D（文件寄存器）	KnY、KnM、KnS; T、C、D（文件寄 存器）	K、H, n≤512	—
	16	FMOV	多点传送	KnX、KnY、KnM、KnS; T、C、D、V、Z	KnY、KnM、KnS; T、C、D、V、Z	K、H, n≤512	—
	17	XCH	数据交换	—	[D1][D2] KnY、KnM、KnS; T、C、D、V、Z	—	—
	18	BCD	BCD 变换	KnX、KnY、KnM、KnS; T、C、D、V、Z	KnY、KnM、KnS; T、C、D、V、Z	—	—
	19	BIN	BIN 变换			—	—



续表

分类	代码 FNC	助记符	操作功能	操 作 数			
				[S.]	[D.]	n	m
四则 运算 和逻辑运 算	20	ADD	加法	[S1][S2] K、H、KnX、KnY、KnM、 KnS；T、C、D、V、Z	KnY、KnM、KnS； T、C、D、V、Z	—	—
	21	SUB	减法			—	—
	22	MUL	乘法			—	—
	23	DIV	除法			—	—
	24	INC	加1	—	KnY、KnM、KnS； T、C、D、V、Z	—	—
	25	DEC	减1			—	—
	26	WAND	字逻辑与	K、H、KnX、KnY、KnM、 KnS；T、C、D、V、Z	KnY、KnM、KnS； T、C、D、V、Z	—	—
	27	WOR	字逻辑或				
	28	WXOR	字逻辑异或				
循环 和移位	30	ROR	循环右移	—	KnY、KnM、KnS； T、C、D、V、Z	K、H	—
	31	ROL	循环左移				
	32	RCR	带进位右移	—	KnY、KnM、KnS； T、C、D、V、Z	K、H	—
	33	RCL	带进位左移				
	34	SFTR	位右移	X、Y、M、S	Y、M、S	K、H	—
	35	SFTL	位左移				
	36	WSFR	字右移	KnX、KnY、KnM、KnS； T、C、D、V、Z	KnY、KnM、KnS； T、C、D、V、Z	K、H	—
	37	WSFL	字左移				
数据 处理	40	ZRST	区间复位	—	Y、M、S、T、C、 D（D1≤D2）	—	—
	41	DECO	解码	K、H、X、Y、M、S、T、C、 D、V、Z	Y、M、S、T、C、 D	K、H， n=1~8	—
	42	ENCO	编码	X、Y、M、S、T、C、D、V、 Z	T、C、D、V、Z		
	45	MEAN	平均值	KnX、KnY、KnM、KnS； T、C、D	KnY、KnM、KnS； T、C、D、V、Z	K、H， n=1~64	—
	48	SQR	开方值	K、H、D	D	—	—
	49	FLT	浮点操作	D	D	—	—
高 速 处 理	53	HSCS	高速计数器 置位	[S1] K、H、KnX、 KnY、KnM、 KnS、T、C、 D、V、Z	[S2] C235 ~ C255	Y、M、S	—
	54	HSCR	高速计数器 复位				
	55	HSZ	高速计数器 区间比较	[S1][S2] K、H、KnX、 KnY、KnM、 KnS、T、C、 D、V、Z	[S3] C235 ~ C255	Y、M、S 三个连续 元件	—
	57	PLSY	脉冲输出	K、H、KnX、KnY、KnM、 KnS、T、C、D、V、Z	Y	—	—
	58	PWM	脉宽输出				



续表

分类	代码 FNC	助记符	操作功能	操 作 数			
				[S.]	[D.]	n	m
方便指令	60	IST	状态初始化	X、Y、M	S20~S899	—	—
	66	ALT	交替输出	—	Y、M、S	—	—
	67	RAMP	斜坡信号	D	D	K、H	—
外部设备	73	SEGD	七段译码	K、H、KnX、KnY、KnM、KnS、T、C、D、V、Z	Y	K、H	—
	78	FROM	特殊功能块 读出数据	—	KnY、KnM、KnS; T、C、D、V、Z	K、H	K、H
	79	T0	特殊功能块 数据写入	K、H、KnX、KnY、KnM、KnS、T、C、D、V、Z	—	K、H	K、H
	80	RS	串行通信	D	D	K、H、D	K、H、 D
	81	PRUN	并行运行	KnX、KnM	KnY、KnM	—	—
	85	VRRD	模拟量读出	K、H	KnY、KnM、KnS; T、C、D、V、Z	—	—
	86	VRSC	模拟量开关 设定	K、H	KnY、KnM、KnS; T、C、D、V、Z	—	—
	88	PID	PID 运算	K、H、KnX、KnY、KnM、KnS、T、C	D	—	—

习题 4

- 4.1 简述功能指令的基本形式。
- 4.2 简述字元件和位元件的定义，字元件和位元件组合有哪些区别？
- 4.3 试分析图 4.46 中梯形图的功能。

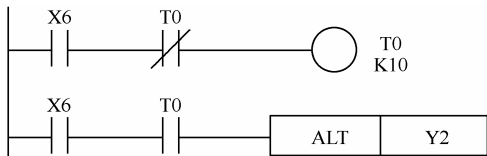
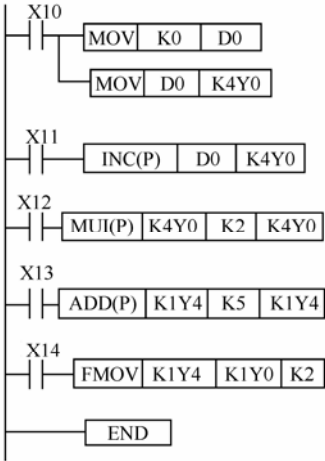


图 4.46 题 4.3 图

- 4.4 设 PLC 输入端 X10、X11、X12、X13、X14 的闭合顺序如表格所示，试分析如图 4.47 所示的梯形图，并将 Y0~Y7 的状态填入表格内，（设 Y 端的初始状态为 0，执行条件 X 每次由 OFF→ON→OFF 改变）。
- 4.5 设 PLC 输入端 X17~X0 的状态为“0000 1000 1111 0001”，D0 中的内容为“0000 0000 0011 0010”，试分析如图 4.48 所示的梯形图，将 PLC 输出端 Y 的状态变化情况填入表格内（设 Y 端的初始状态为 0，X 执行条件每次由 OFF→ON→OFF 改变）。



输出 Y 执行条件 X				
	Y17~Y14	Y13~Y10	Y7~Y4	Y3~Y0
X20=ON				
X21=ON				
X22=ON				
X23=ON				
X24=ON				



执行条件的 动作顺序	输出Y的状态							
	Y7	Y6	Y5	Y4	Y3	Y2	Y1	Y0
X10								
X11								
X12								
X13								
X14								

图 4.47 题 4.4 图

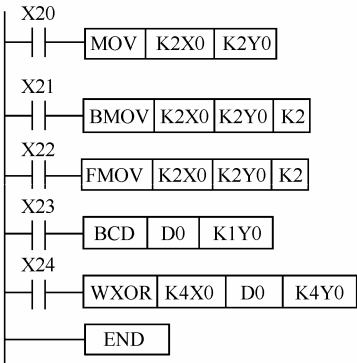


图 4.48 题 4.5 图

FX系列PLC通信技术

本章要点

1. PLC 通信的基本知识。
2. FX 系列 PLC 的网络通信参数设置及控制程序的设计方法。

随着计算机网络技术的日益成熟以及企业对工业自动化程度要求的提高，生产过程的自动控制系统从传统的集中式控制向多级分布式控制方向发展，构成控制系统的 PLC 也就必须要具备通信及网络的功能，要能够相互连接，远程通信。现在即便是微型和小型的 PLC 也都具有网络通信接口。网络的总体发展趋势是向高速、多层次、大信息吞吐量、高可靠性和开放式的方向发展。

5.1 PLC通信的基本知识

5.1.1 通信系统的基本概念

1. PLC通信系统的基本组成

通信系统由硬件设备和软件共同组成。硬件设备包括发送/接收设备和通信介质（总线）等。通信软件有通信协议和通信编程软件。通信系统组成示意图如图 5.1 所示。由图可知，通信传送设备至少有两个，即发送设备和接收设备。对于多台设备之间的数据传送，可以有主机（主站）和从机（从站）之分。主机在通信控制中起到控制、发送和处理信息的主导作用，从机被动地接收、监视和执行主机的信息。主机和从机在实际通信时，由数据传送的结构来确定主从关系。在 PLC 通信系统中，传送设备可以是 PLC、计算机或其他各种外围的设备。

2. 通信方式

根据通信系统中数据传输方式的不同，数据通信分为两种基本形式：并行通信方式和串行通信方式。



图 5.1 通信系统组成示意图

（1）并行通信。将传送数据的每一位同时传输的方式称为并行传输，如图 5.2 所示。并行数据通信是以传送数据的位为单位，除了使用 8 根或 15 根数据线和一根公共线外，还需要通信双方之间进行联络用的控制线。

并行数据通信的特点是：传输速度快，不论是 8 位还是 15 位传输数据，只需要一个时钟周期的传送时间，但所需的传输线数目多，成本较高，通常用于传输速率高的近距离数据传输，如打印机与计算机之间的数据传送。

（2）串行通信。串行通信只用一根数据线进行传输，多位数据在一根数据线上顺序传送，如图 5.3 所示。这是一种以二进制的位（bit）为单位的数据传输方式。串行通信每次只传送一位，除了公共线外，在一个数据传输方向上只需要一根数据线，这根线既可以作为数据线，又可以作为通信联络用的控制线。

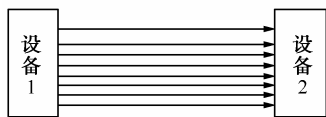


图 5.2 8 位数据并行传输

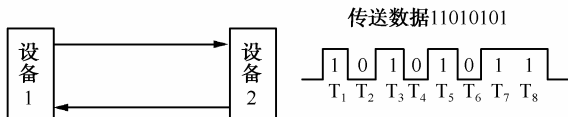


图 5.3 8 位数据串行传输

串行通信的特点是：数据传输速度慢，但通信时需要的信号线少（最少只需要两根线），在远距离传输时通信线路简单、成本低，常用于远距离传输而速度要求不高的场合。串行通信在工业控制中应用广泛，计算机和 PLC 都有通用的串行通信接口（如 RS-232C）。

在串行通信中，数据传输速率（又称比特率）通常是指每秒传送的二进制位数。不同的串行通信网络的传输速率差别极大，常用的标准数据传输率为 300b/s、500b/s、9 500b/s 等。

① 串行通信的数据通路形式。串行通信按照信息在设备间的传输方向，分为单工、半双工和全双工 3 种方式，如图 5.4 所示。单工通信是指信息的传递始终保持一个固定的方向，不能进行反方向传送。半双工是指在两个通信设备间的同一时刻只能由一个设备发送数据，而另一个设备只能接收数据，两个设备不能同时发送或接收信息。全双工是指两个通信设备可以同时发送和接收信息，线路上任何时刻可有两个方向的数据在传送。

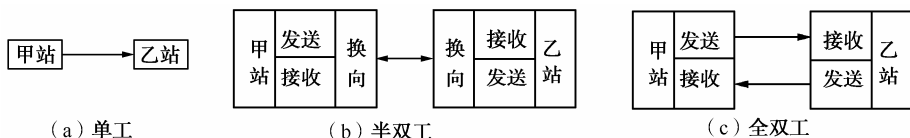


图 5.4 单工、半双工和全双工

② 串行通信的同步方式。在串行通信中，为了保证发送和接收数据的一致性，可以采用两种通信技术，即异步串行通信和同步串行通信技术。



异步串行通信方式是将传输的数据按照某位数进行分组（通常以 8 位字节为单位），在每组数据的前面和后面分别加上一位起始位和停止位，根据需要还可以在停止位加一位校验位，并且停止位的长度还可以增加，这样组合成的一组数据，称为一帧。

发送设备一帧一帧地发送，接收设备一帧一帧地接收，加入了起始位、停止位以及校验位，就可以确保数据传输的完整性。接收设备若发现某一帧数据缺少了必需的起始位或停止位，可以要求发送设备重新传送这一帧数据。异步串行通信的数据格式如图 5.5 所示。在异步传输方式中加入了起始位和停止位以及校验位后，保证了异步传输数据的可靠性和正确性，但是加入了这些内容后，造成异步串行通信的传输效率降低，因而提出了同步串行传输的通信方式。



图 5.5 异步串行通信的数据格式

同步串行通信方式对每一帧数据的分组方式做了一些改进。同步串行通信方式不再以字节构成，而是以每个数据块为单位，每个数据块可以由多个字节构成，只在每个数据块的前后加上起始位和停止位即可。这样减少了需要额外传输的控制数据长度，提高了传输效率。

3. 通信介质

一个通信系统不论采用并行或串行传输方式，数据最终要通过某种介质和接口才能从发送设备传送到接收设备。在通信系统中，可以将通信介质比做输送数据信息的管道，管道的好坏以及畅通的程度，决定了通信的质量和性能。PLC 对通信介质的基本要求是具有传输效率高、能量损耗小、抗干扰能力强、性价比高等特性。

目前 PLC 通信大多数采用有线介质，例如双绞线、同轴电缆、光纤等。由于工业环境中存在各种各样的干扰，因此对于 PLC 网络通信来讲，要求通信介质必须具备较高的抗干扰能力，所以双绞线和同轴电缆适用于 PLC 的通信。

4. 通信接口

(1) RS-232 通信接口。RS-232 通信接口是数据通信中应用最为广泛的一种串行接口，它是数据终端设备与数据通信设备进行数据交换的接口，目前最受欢迎的是 RS-232C，即 C 版本的 RS-232。

RS-232 接口物理连接器（插头）规定为 25 芯插头，通常插头在数据终端设备（DTE）端，插座在数据通信设备（DCE）端。“RS”是英文“推荐标准”的缩写，“232”是标识号，“C”表示此标准修改的次数。它既是一种协议标准，又是一种电气标准，规定了终端和通信设备之间信息交换的方式和功能，采用串行通信方式传送数据，波特率规定为 19200b/s、9600b/s、4800b/s 等几种。

RS-232C 接口是标准的 25 针的 D 型连接器。RS-232C 采用负逻辑，规定逻辑“1”电平在 $(-5 \sim -15)$ V 范围内，逻辑“0”电平在 $(5 \sim 15)$ V 范围内，具有较高的抗干扰能力。



(2) RS-422 通信接口。RS-422 通信接口定义有 RS-232C 通信接口所没有的 10 种电路功能，规定用 37 针的连接器。采用差动发送、差动接收的工作方式，发送器、接收器使用+5V 的电源，因此在通信速率、通信距离、抗干扰能力等方面较 RS-232C 通信接口有很大的提高，其数据的传送速率可达 10Mb/s，通信距离为 12~1200m。

(3) RS-485 通信接口。RS-485 通信接口是 RS-422 的改进，RS-485 采用半双工通信方式，它的电气接口电路采用了差分传输方式，抗共模干扰能力增强，输出阻抗低，并且无接地回路，适合于远距离数据传输。

PLC 主要是通过 RS-232、RS-422 和 RS-485 等通用通信接口进行联网通信的。若联网通信的两台设备都具有同样类型的接口，可以直接通过适配的电缆连接实现通信。若两台设备的通信接口不同，则要采用一定的硬件设备进行接口类型的转换。三菱公司生产的这类设备采用功能扩展板和独立机箱型两种基本结构形式。功能扩展板通信接口（如 FX_{2N}-485-BD 型）没有外壳，安装在 PLC 的机箱内使用，其构成的通信距离最大为 50m。而独立机箱型接口（如 FX_{2N}-485ADP 型）属于扩展模块一类，其采用适配器构成的通信距离最大为 500m。

在许多工业环境中，要求使用最少的信号线，在远距离内实现通信任务。目前在 PLC 局域网中广泛使用 RS-485 串行接口总线。采用 RS-485 构成分布式系统，系统中最多可有 32 个站，新的接口器件已允许连接 128 个站。

5. 通信协议

PLC 网络和计算机网络一样，也是由各种数字设备（其中也包括 PLC、计算机）和终端设备（显示器、打印机等）通过通信线路连接起来的复合系统。在这个系统中，由于数字设备的型号、通信线路的类型、连接方式、同步方式、通信方式的不同，给网络的通信带来了不便。不同系列、不同型号的计算机，PLC 通信方式各有差异，造成了通信软件需要依据不同的情况进行开发。这不仅涉及数据的传输，而且还涉及 PLC 网络的正常运行，因此在网络系统中，为确保数据通信双方能正确而自动地进行通信，针对通信过程中的各种问题，制定了一整套的约定，这就是网络系统的通信协议，又称网络通信规程。

通信协议主要用于规定各种数据的传输规则，使之能更有效地利用通信资源，保证通信的畅通，接发双方都必须严格遵守通信协议的各项规定。通信软件则是人与通信系统之间沟通的一个工具，使用者可以通过通信软件了解整个系统运作的情况，进而对系统进行各种控制和管理，如同道路交通管理中的交通规则。

网络通信协议是一组约定，通常至少应有两种功能：一是通信，包括识别和同步；二是信息传输，包括传输正确的保证，错误检测和修正等。具体来讲，网络协议主要有以下 3 个组成部分。

(1) 语义：是对协议元素含义的解释。不同类型的协议元素所规定的语义是不同的，例如需要发出何种控制信息、完成何种动作及得到的响应等。

(2) 语法：将若干个协议元素和数据组合在一起用来表达一个完整的内容所应遵循的格式，是对信息的数据结构做出的一种规定。例如用户数据与控制信息的结构与格式等。

(3) 时序：对事件实现顺序的详细说明。例如在双方进行通信时，发出一个数据报文，如果目标点正确收到，则回答源点接收正确；若接收到错误的信息，则要求源点重发一次。

由此可以看出，协议实质上是网络通信时所使用的一种联络语言。



5.1.2 FX_{2N}系列PLC的通信形式

FX_{2N} 系列 PLC 支持以下 4 种类型的通信形式。

(1) 并行通信。FX_{2N} 系列 PLC 可以采用 FX_{2N}-485-BD 内置通信板和专用通信电缆连接实现两台同系列 PLC 间的并行通信。

(2) 计算机与多台 PLC 之间的通信。一台计算机采用 RS-485 通信接口与多台 PLC 之间进行通信,多见于计算机为上位机的控制系统中,这时的各个 PLC 均可以接收上位机的命令,并将执行结果送给上位机,形成一个简单的集中管理、分散控制的分布式控制系统。

(3) N:N 网络通信。采用 RS-485 通信接口在 FX 系列 PLC 之间进行简单的数据链接,实现多机通信互联,常用于生产过程中的集散控制与集中管理等方面。

(4) 无协议通信。采用具备 RS-422 通信接口或 RS-485 通信接口的各种设备,以无协议的方式进行数据交换,对于 PLC 只需编写实现通信功能的梯形图即可实现通信。常用于 PLC 与计算机、条形码阅读器、打印机和各种智能仪表等串口设备之间的数据交换。

5.2 PLC与计算机的通信

PLC 和计算机的通信是一种最简单、最直接的通信方式,一般的 PLC 都具有和计算机通信的功能。当 PLC 和计算机联网通信后,可充分地发挥出计算机在系统管理、数据处理、图像显示、文字处理及打印报表等方面的优点。利用计算机可以实现 PLC 采用梯形图编程,使程序的自动监控执行更加直观和形象,可以实现生产过程的模拟仿真、生产过程的流程图和检测量变化的显示;可以进行数据显示等。总之,采用计算机和 PLC 联网通信扩大了 PLC 的应用范围。

5.2.1 计算机与多台PLC的连接

一台计算机和多台 PLC 连接通信,称为 1:N 型网络。一台计算机最多可以连接 16 台 PLC。图 5.6 所示为采用 RS-485 通信的 1:3 型网络连接示意图,图中 PLC 采用 FX_{2N}-485-BD 型内置通信板和 FX-485PC-IF 型接口转换模块,将一台计算机和 3 台 PLC 连接为通信网络,可进行 PLC 和计算机之间的信息、数据交换。

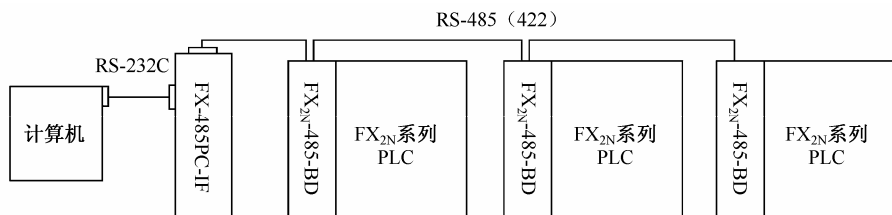


图 5.6 使用 RS-485 通信的 1:3 连接



5.2.2 通信协议

FX 系列 PLC 与计算机采用 RS-232C 标准，通信协议的有关规定如下所述。

1. 数据格式

通信采用异步串行方式，通信协议的数据交换格式为字符串的方式，由奇偶校验位、起始位和停止位、数据位组成。数据位利用字符串的 ASCII 码表示。数据是以帧为单位发送和接收的，FX 系列 PLC 与计算机通信的数据格式如图 5.5 所示。

2. 通信控制字符

通信控制字符有 ENQ、ACK、NAK、STX 和 ETX 共 5 个。PLC 和计算机之间的数据传输以帧为单位，每一帧为 10 个字符，其中 ENQ、ACK 或 NAK 可以构成单字节字符帧；其余的字符在发送和接收时，必须以字符 STX 为起始符，ETX 为结束符，否则将不能保持同步，产生错帧。表 5.1 所示为 FX 系列 PLC 与计算机的通信控制字符及含义。

表 5.1 FX 系列 PLC 与计算机的通信控制字符及含义

字符	ASCII 码	数据格式	注 释
ENQ	05H	1100001010	来自计算机的查询信号
ACK	06H	1100001100	无校验错误，PLC 对 ENQ 的确认应答信号
NAK	15H	1100101010	检测到错误，PLC 对 ENQ 的否认应答信号
STX	02H	1100000100	数据（信息帧）的起始标志
ETX	03H	1100000110	数据（信息帧）的结束标志

3. 通信命令

FX 系列 PLC 有 4 条通信命令，分别是读命令、写命令、强制为 ON 命令和强制为 OFF 命令。表 5.2 所示为 FX 系列 PLC 的通信命令代码及功能说明。

表 5.2 FX 系列 PLC 的通信命令代码及功能说明

命令	命令代码	目标元件	功能说明
读	0: ASC 码 30H	X,Y,M,S,T,C,D	读软继电器状态及数据
写	1: ASC 码 31H	X,Y,M,S,T,C,D	将数据写入软继电器
强制为 ON	7: ASC 码 37H	X,Y,M,S,T,C	强制为 ON
强制为 OFF	8: ASC 码 38H	X,Y,M,S,T,C	强制为 OFF

4. 报文格式

多字符传送时构成多字符帧，一个多字符帧由字符 STX、命令码、数据段、字符 ETX 及校验位组成。计算机向 PLC 发出的报文格式如图 5.7（a）所示，PLC 向计算机发出的应答报文格式如图 5.7（b）所示。

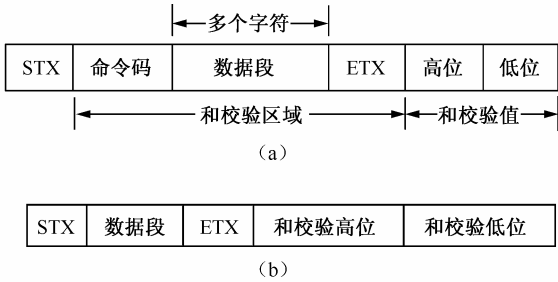


图 5.7 报文格式

5. 传输规程

在 FX 系列 PLC 与计算机的通信中，无论是读或写操作，PLC 始终为被动状态，都是由计算机发出信号，传输规程说明如图 5.8 所示。

开始通信由计算机发出一个控制字符 ENQ，去询问 PLC 是否做好通信准备，同时也可以检查 PLC 与计算机之间的链接是否正确。当 PLC 接收到该字符后，正处在 STOP 状态，则立即做出回答，如通信有错，则回答 NAK，如通信正常，则回答 ACK。若 PLC 正处于 RUN 状态，则要等待至本次扫描结束时（至 END 指令）才能回答。

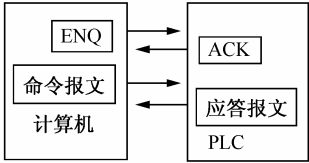


图 5.8 传输规程说明

如果计算机发出一个 ENQ 经过 5s 后，没有收到回答，则计算机会再次发出 ENQ 控制字符，仍没有回答说明链接有错。在计算机收到回答字符 ACK 后，就可以进行数据通信了。

6. 通信格式

PLC 和计算机通信的详细协议采用 PLC 内部的特殊辅助继电器 D8120 进行设置，具体的设置内容为：数据长度、校验形式、传输速率和协议方式等。图 5.9 所示为 D8120 设置示例，如果采用模式 1 标准，图中梯形图程序的设置为：无协议通信、传送数据长度为 7 位、偶校验位、1 位停止位和 9600b/s 数据通信速率。对于多台 PLC 链接时，还要用 D8121 设置 PLC 的站号。站号的设置范围为 00~07CH。

采用 D8129 设置检验时间。检验时间指计算机向 PLC 传送数据失败时，从传送开始至接收完最后一个字符所等待的时间。计算机向 PLC 传送的字符串的格式如图 5.10 所示。

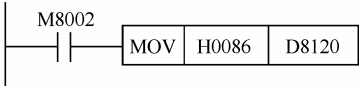


图 5.9 D8120 设置示例

控制代码
站号
PLC的CPU代码
操作指令
等待时间
软元件及其设定
和校验码
控制码CR/LF

图 5.10 字符串的格式



5.3 FX_{2N}系列PLC的N:N通信网络

N:N 链接通信协议用于 FX 系列 PLC 之间的自动数据交换。N:N 网络主要应用于工业生产过程的复杂控制系统中，应用于网络中的 PLC 都有各自不同的控制任务，但是通过相互之间的链接通信，可达到统一管理和共同控制的目的。

5.3.1 N:N网络的特点

- (1) 采用 RS-485 通信传输标准。
- (2) 最多连接 8 台 PLC，一台为主机，其他为从机。
- (3) 采用 FX_{2N}-485-BC 通信模块通信距离最大为 50m。采用 FX_{0N}-485-ADP 模块最大距离可达 500m。
- (4) 通信方式为半双工通信方式。
- (5) 采用设置通信模式（三种）的方法，确定可供数据交换的共享区域。

5.3.2 N:N网络的参数设置

N:N 网络中有系统指定的共享数据区域，即网络中的每一台 PLC 都要提供各自的辅助继电器和数据寄存器组成网络交换数据的共享区间。网络编程元件的共享区域如表 5.3 所示。

对于网络中的每一台 PLC，都可以将自身用于网络交换的数据存入共享数据区。网络中的每一台 PLC，使用网络中其他 PLC 自动传来的数据就像读本身内部数据区的数据一样方便。采用 N:N 网络通信，能链接一个小规模系统中的数据，每一个 PLC 都可以监视网络中其他 PLC 共享区域中的数据。N:N 网络的设置只有在程序运行或 PLC 启动时才有效。N:N 网络的参数设置内容如下。

- (1) 站号设置（D8176）。D8176 的取值范围为 0~7，主机应设置为 0，从机设置为 1~7。
- (2) 设置从机个数（D8177）。该设置只适用于主机，设定范围为 1~7，默认值为 7。
- (3) 设置刷新范围（D8178）。刷新范围是指对通信联网中所有 PLC 的共享寄存器复位操作的范围。设置刷新范围实际上是设定联网 PLC 的共享区域辅助继电器、数据寄存器的范围，对于不同型号的 PLC，其内部编程元件的地址和范围有差异，所以要根据 PLC 的机型设置刷新范围。

刷新范围的设定有两步：首先由主机的 D8178 设置刷新模式（0、1、2 共三种。默认值为 0），参见表 5.4 的内容。当刷新模式设定后，N:N 网络中主机和从机的刷新范围也就确定了，其主、从机的共享辅助继电器和数据寄存器的使用范围也就确定了。假设采用 FX_{2N} 型 PLC 进行联网，如果设定模式 1，则参考表 5.3 的内容就可以知道采用模式 1 编程元件的共享区域了。



表 5.3 网络编程元件的共享区域

站号	模 式 0	模 式 1		模 式 2	
	4 点字元件	32 点位元件	4 点字元件	64 点位元件	8 点字元件
0	D0~D3	M1000~M1031	D0~D3	M1000~M1063	D0~D7
1	D10~D13	M1064~M1095	D10~D13	M1064~M1127	D10~D17
2	D20~D23	M1128~M1159	D20~D23	M1128~M1191	D20~D27
3	D30~D33	M1192~M1223	D30~D33	M1192~M1255	D30~D37
4	D40~D43	M1256~M1287	D40~D43	M1256~M1319	D40~D47
5	D50~D53	M1320~M1351	D50~D53	M1320~M1383	D50~D57
6	D60~D63	M1384~M1415	D60~D63	M1384~M1447	D60~D67
7	D70~D73	M1448~M1479	D70~D73	M1448~M1511	D70~D77

表 5.4 刷新模式

通信元件	刷新模式（刷新范围）		
	模式 0	模式 1	模式 2
	(FX _{0N} 、FX _{1S} 、FX _{1N} 、FX _{2N} 、FX _{2NC})	(FX _{1N} 、FX _{2N} 、FX _{2NC})	(FX _{1N} 、FX _{2N} 、FX _{2NC})
位元件	0 点	32 点	64 点
字元件	4 点	4 点	8 点

（4）其他相关标志和数据寄存器。

- ① M8038：设置网络参数；
- ② M8183：在主机的通信错误时为 ON；
- ③ M8184~M8190：在从机产生错误时为 ON；
- ④ M8191：在与其他从机通信时为 ON；

⑤ D8179：主机设定通信重试次数，设定值为 0~10（默认值为 3），该设置仅用于主机，当通信出错时，主机就会根据设置的次数自动重试通信。

⑥ D8180：设置主机和从机间的通信驻留时间，设定值为 5~255，对应设置的通信驻留时间为 50~2550ms。

5.3.3 N:N通信网络示例

如图 5.11 所示为 3:3 通信网络示意图。图中的系统有 3 个站点，其中 1 个为主站，2 个为从站，每个站点的 PLC 都连接一个 FX2N-485BD 通信板，通信板之间用单根双绞线连接，刷新范围选择模式 1，重试次数选择 3，通信超时选择 50ms，要求系统的功能为：

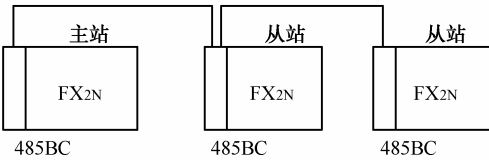


图 5.11 3:3 通信网络示意图



- (1) 将主站点的输入点 X0~X3 输出到从站点 1 和 2 的输出点 Y10~Y13。
- (2) 将从站点 1 的输入点 X0~X3 输出到主站和从站点 2 的输出点 Y14~Y17。
- (3) 将从站点 2 的输入点 X0~X3 输出到主站和从站点 1 的输出点 Y20~Y23。

根据系统的功能要求，图 5.12 所示为主站的程序梯形图，图 5.13 所示为从站点 1 的程序梯形图，图 5.14 所示为从站点 2 的程序梯形图。

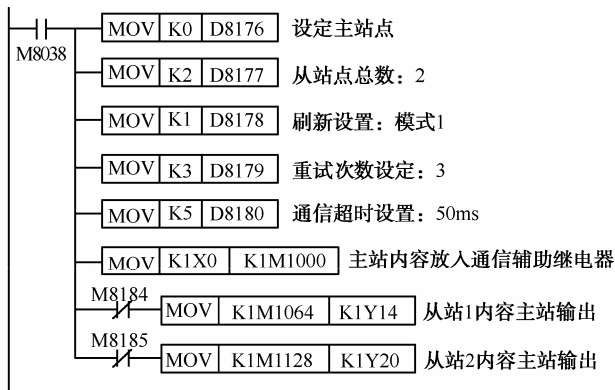


图 5.12 主站的程序梯形图

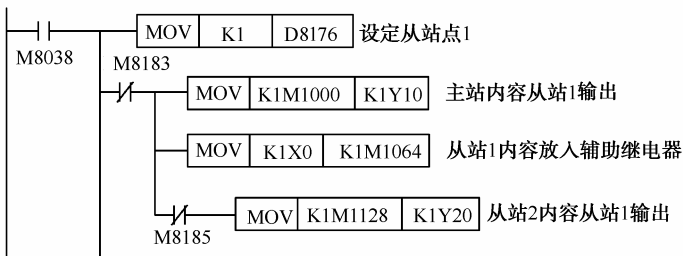


图 5.13 从站点 1 的程序梯形图



图 5.14 从站点 2 的程序梯形图



5.4 双机并行通信

5.4.1 与并行链接有关的标志寄存器

1. 并行通信的标志寄存器

并行通信可采用两台 FX 系列 PLC 实现相互间的数据自动传送。与并行通信有关的标志寄存器如表 5.5 所示。

表 5.5 并行通信的标志寄存器

元件号	操 作 功 能
M8070	为 ON 时，PLC 作为并行链接的主机
M8071	为 ON 时，PLC 作为并行链接的从机
M8072	PLC 运行在并行链接时为 ON
M8073	在并行链接时，主机和从机中任何一个设置出错时为 ON
M8162	为 OFF 时为标准模式，为 ON 时为快速模式

2. 使用方法

将两个都安装有通信模块的 FX 系列 PLC 的基本单元，采用单根带屏蔽的双绞线连接，即可组成双机并行通信网络。编程时用 M8070 和 M8071 设定主机和从机，用特殊辅助继电器在两台可编程控制器之间进行自动的数据传送。另外，并行连接分为一般模式和高速模式，两种模式由 M8162 的 ON/OFF 识别。

采用并行通信的一般模式时，特殊辅助继电器 M8162 为 OFF 时，主机、从机的设定和通信用特殊继电器和数据寄存器如图 5.15 所示。主机和从机的区别仅在于供通信用的数据寄存器和辅助继电器的地址分配不同，不表示两台 PLC 在通信中的主、从关系。

5.4.2 并行通信模式的设置与连接

当两个 FX 系列 PLC 的主要单元分别安装一块通信模块后，用单根带屏蔽双绞线连接即可。编程时设定主站和从站，用特殊辅助继电器在两台可编程控制器之间进行自动数据传送，很容易实现数据通信链接。主站和从站的设定由 M8070 和 M8071 设定，图 5.16 所示为两台 FX2N 主单元用两块 FX2N-485-BD 模块的通信连接示意图。

图 5.16 的配置选用一般模式（特殊辅助继电器 M8162 为 OFF）时，主站、从站的设定和通信用特殊继电器和数据寄存器如图 5.15 所示。按照并行通信方式连接好两台 PLC 后，将其中一台 PLC 的特殊辅助继电器 M8070 置为 ON 状态，表示该台 PLC 为主站；将另一台 PLC 中的 M8071 置为 ON 状态，表示该台 PLC 为从站。

两台双机并行通信的 PLC 投入运行后，主站内的 M800～M899 的状态随时可以被从站读取，即从站通过这些 M 的触点状态就可以知道主站内相应线圈的状态，但是从站不可以再



使用同样地址的线圈（M800~M899）。同样，从站内的 M900~M999 的状态也可以被主站读取，即主站通过这些线圈的触点就可以知道从站内相应线圈的状态，但是主站也不能再使用 M900~M999 线圈。

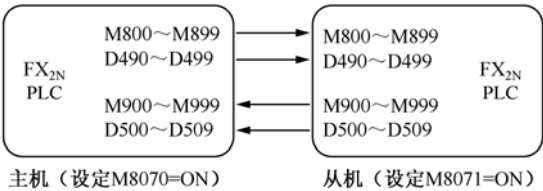


图 5.15 并行通信编程元件说明

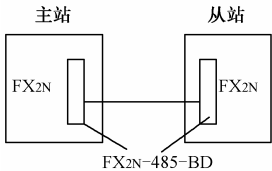


图 5.16 并行通信

另外，主站中数据寄存器 D490~D499 中的数据可以被从站读取，从站中的数据寄存器 D500~D509 中的数据可以被主站读取。

5.4.3 双机并行通信示例

设图 5.16 所示并行通信系统的控制要求为：

- (1) 主站点输入 X0~X7 的 ON/OFF 状态输出到从站点的 Y0~Y7。
- (2) 当主站点的计算结果 (D0+D2) 大于 100 时，从站点的 Y10 为 ON。
- (3) 从站点的 M0~M7 的 ON~OFF 状态输出到主站点的 Y0~Y7。
- (4) 用从站点 D10 中的数值设置主站点定时器 T0 的值。

根据控制要求，并行通信主站点程序梯形图如图 5.17 所示；并行通信从站点的程序梯形图如图 5.18 所示。

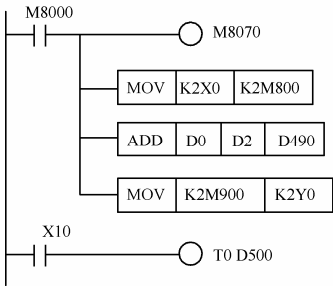


图 5.17 并行通信主站点的程序梯形图

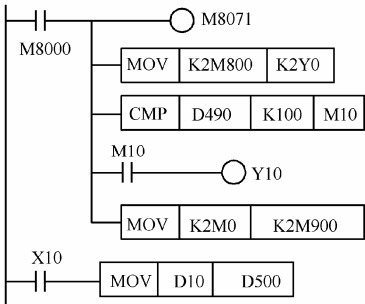


图 5.18 并行通信从站点的程序梯形图

习题 5

- 5.1 FX 系列 PLC 的通信形式有几种？
- 5.2 简述 N:N 网络通信的特殊辅助寄存器的功能。
- 5.3 简述通用通信接口的类型及特点。
- 5.4 采用两台 FX_{2N} 型 PLC，通过 RS-485-BD 内置通信板和专用通信电缆连接，构建一个 N:N 型通信



网络。其中一台设置为主机，另一台设置为从机。要求编程实现如下通信控制功能：

(1) 主、从机通信对方呼叫响应的功能。按下主机的呼叫按钮 SB0，从机的指示灯 HL 点亮；按下从机的呼叫按钮 SB1，主机的指示灯 HL 点亮。

(2) 当从机检查到主机出现通信错误时，从机点亮从机端设置的主机通信故障指示灯。同理，当主机检查到从机通信出现错误时，点亮主机端的从机通信故障指示灯。

(3) 采用从机的计数器，对某生产过程中的参数进行计数，在计数器计满时点亮主机端的指示灯，由主机设定计数器的设定值，并控制计数器复位。

(4) 设置主机和从机的通信检测指示灯，对主、从机的“通信准备到位”进行检测。当其指示灯点亮，表明对方未准备好通信工作。

5.5 采用两台 FX_{2N} 系列 PLC 实现并行通信控制。试设计通信控制程序，要求完成的具体功能为：

(1) 主机的信号 X0~X7 由从机的 Y0~Y7 端输出。

(2) 当主机的计算值 (D0+D1)=100 时，由从机的 Y10 端输出信号，并采用 LED 指示。

(3) 将从机的辅助继电器 M0~M7 的状态由主机的 Y0~Y7 端输出。

(4) 由从机的 X10 控制，将从机的数据寄存器 D10 的内容传送到主机，作为主机定时器 T0 的设定值 (10s)。

FX_{2N}系列PLC的特殊功能模块

本章要点

1. 特殊功能模块的功能及连接方法。
2. 模拟量 I/O 模块的参数设置及编程方法。

在工业控制中，大多数被控物理量（如压力、温度、流量、转速等）都是模拟量信号，同时很多执行机构（如伺服电动机、调节阀等）要求 PLC 输出模拟量的控制信号，所以仅用 PLC 开关量的 I/O 模块，不方便或不可能做到，为此，PLC 生产厂家开发了许多特殊功能模块，如模拟量输入/输出模块、高速计数模块、温度调节模块、PID 过程控制模块及运动控制模块等。这些模块和 PLC 的基本单元配合使用，可满足工业控制对硬件设备的不同要求，使 PLC 的控制功能越来越强，应用范围越来越广。本章主要介绍三菱公司 FX_{2N} 系列 PLC 常用的模拟量 I/O 模块的主要功能、电路连接及编程的方法。

6.1 特殊功能模块的类型及使用方法

6.1.1 FX_{2N}系列PLC特殊功能模块的类型及用途

1. 模拟量输入模块

模拟量输入模块用于将温度、压力、流量等传感器输出的模拟量电压或电流信号，转换成数字信号供 PLC 基本单元使用。FX_{2N} 系列 PLC 的模拟量输入模块主要有：FX_{2N}-2AD 型 2 通道模拟量输入模块、FX_{2N}-4AD 型 4 通道模拟量输入模块、FX_{2N}-4AD-PT 型 4 通道热电阻传感器用模拟量输入模块、FX_{2N}-4AD-TC 型 4 通道热电偶传感器用模拟量输入模块等。

2. 模拟量输出模块

模拟量输出模块主要用于将 PLC 运算输出的数字信号，转换为可以直接驱动模拟量执行器的标准模拟电压或电流信号。FX_{2N} 型 PLC 的模拟量输出模块主要有：FX_{2N}-2DA 型 2 通道



模拟量输出模块、FX_{2N}-4DA 型 4 通道模拟量输出模块等。

3. 过程控制模块

过程控制模块用于生产过程中模拟量的闭环控制。使用 FX_{2N} -2LC 过程控制模块可以实现过程参数的 PID 控制。FX_{2N} -2LC 模块的 PID 控制程序由 PLC 生产厂家设计并存储在模块中，用户使用时只需设置其缓冲寄存器中的一些参数，使用非常方便，一般使用在大型的过程控制系统中。

4. 脉冲输出模块

脉冲输出模块可以输出脉冲串，主要用于对步进电动机或伺服电动机的驱动，实现多点定位控制。与 FX_{2N} 系列 PLC 配套使用的脉冲输出模块有 FX_{2N}-1PG、FX_{2N}-10GM、FX_{2N} -20GM 等。

5. 高速计数器模块

利用 FX_{2N} 系列 PLC 内部的高速计数器可进行简易的定位控制，对于更高精度的点位控制，可采用 FX_{2N}-1HC 型高速计数器模块。高速计数器模块 FX_{2N}-1HC 是适用于 FX_{2N} 系列 PLC 的特殊功能模块。利用 PLC 的外部输入或 PLC 的控制程序可以对 FX_{2N}-1HC 计数器进行复位和起动控制。

6. 可编程凸轮控制器

可编程凸轮控制器 FX_{2N}-IRM-SET，是通过主要旋转角传感器 F₂-720-RSV，实现高精度角度、位置检测和控制的专用功能模块，可以代替机械凸轮开关，实现角度控制。

6.1.2 模拟量I/O模块的使用说明

1. 模拟量模块的连接与编号

模拟量模块和 PLC 配合使用时，要采用 FROM/TO（读/写）指令实现数据通信。为了使 PLC 能够准确地查找到指定的特殊功能模块，每个特殊功能模块都有一个确定的编号，依据最靠近 PLC 基本单元的那一个功能模块开始顺序编号，最多可连接 8 台功能模块，其对应的编号为 0~7 号（PLC 的扩展单元不在此编号的范围内）。

如图 6.1 所示，一台 FX_{2N}-48MR 型 PLC 的基本单元，通过扩展单元总线与 FX_{2N} -4AD 型模拟量输入模块、FX_{2N}-16EX 型扩展单元、FX_{2N} -4DA 型模拟量输出模块、FX_{2N} -32ER 型扩展单元及 FX_{2N} -4AD-PT 型温度模拟量输入模块连接，当各个单元通过总线和基本单元连接好后，除扩展单元外，各个模块根据安装的位置其编号也就确定了。

FX _{2N} -48MR (基本单元)	FX _{2N} -4AD (0 号)	FX _{2N} -16EX	FX _{2N} -4DA (1 号)	FX _{2N} -32ER	FX _{2N} -4AD-PT (2 号)
----------------------------------	--------------------------------	------------------------	--------------------------------	------------------------	-----------------------------------

图 6.1 PLC 基本单元与特殊模块的连接示意图



2. PLC基本单元与特殊功能模块之间的读/写操作

(1) 缓冲寄存器 BFM。模拟量 I/O 模块内部均有数据缓冲寄存器 BFM，它是 PLC 基本单元和模拟量模块进行数据通信的区域。数据缓冲寄存器 BFM 由 32 个 16 位的寄存器组成，其编号为 BFM#0~BFM#31。根据模拟量模块技术说明书中对 BFM 的 32 个寄存器的规定，进行编程使用，可实现模拟量模块的参数设置，以及和 PLC 基本单元间的数据交换。

(2) PLC 基本单元和模拟量模块间的读/写操作指令。FX_{2N} 系列 PLC 与模拟量模块之间的通信，通过执行 FROM/TO 指令实现。FROM 为各种特殊功能模块的读指令，用于 PLC 基本单元从特殊功能模块中读取数据，TO 为各种特殊功能模块的写指令，用于 PLC 基本单元将数据写入到特殊功能模块中。FROM/TO 指令的目标元件是特殊功能模块中的缓冲寄存器 BFM。

特殊功能模块的读/写指令示例梯形图如图 6.2 所示。在图 6.2 中，用 FROM 读特殊功能模块指令将特殊功能块中的数据读出，用 TO 写特殊功能模块指令将 PLC 内部的数据写入到特殊功能块中。

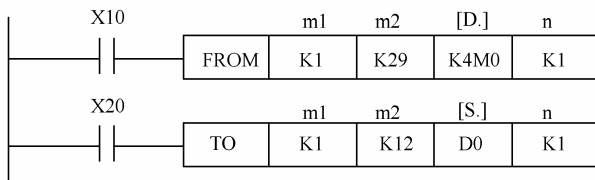


图 6.2 特殊功能模块的读/写指令示例梯形图

编号 m1 的含义：接在 PLC 基本单元右边扩展总线上的功能模块，从最靠近基本单元的开始编号（指令中的 m1），m1 依次为 0~7。

n 的含义：待传送数据的字数，n=1~32（16 位操作），n=1~16（32 位操作）。

m2 的含义：特殊功能模块中缓冲寄存器的首元件号。

在图 6.2 中，当 X10=ON 时，将编号为 1(m1)的特殊功能模块内的编号为 BFM#29(m2)开始的 1(n)个缓冲寄存器的数据，读入 PLC 基本单元的 K4M0(D)开始的 1(n)个数据寄存器中；当 X20 为 ON 时，将 PLC 基本单元的从 D0(S)指定开始的 1(n)个字的数据，写到编号为 1(m1)的特殊功能模块中编号为 BFM#12(m2)开始的 1(n)个缓冲寄存器中。

3. 模拟量模块 I/O 特性的调整

FX_{2N}-4AD 的模拟量输入范围为：-10V~+10V、-20mA~+20mA 和 +4mA~+20mA。对模拟量输入模块可以采用手动操作硬件和编程的方法对其 I/O 特性进行调整。

对 FX_{2N}-4AD 模拟量输入模块进行偏移量和增益设定时，定义通道的数字量输出为 1 000 时对应的模拟量输入为增益值，如图 6.3 (a) 所示。当选择为模拟电压输入时，其默认值为 5V，选择为电流输入时，其默认值为 20mA。

定义通道的数字量为 0 时，模拟量的值为偏移值（零点偏移量），如图 6.3 (b) 所示。当模块的通道为电流输入时，其默认值为 4mA，当通道为电压输入时，其默认值为 0V。

各个输入通道的增益和偏移值可以单独设定，也可以一起设定，一起设定时所有通道将具有相同的增益值和偏移量。增益值的合理调整范围为 (1~15)V 或 (4~32)mA。偏移量



的合理调整范围为 $-5\text{V}\sim+5\text{V}$ 或 $-20\text{mA}\sim+20\text{mA}$ 。

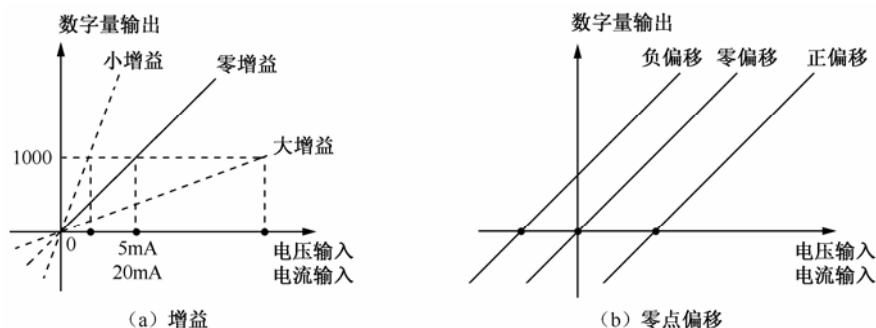


图 6.3 增益和偏移量的定义

FX_{2N}-4DA 模拟量输出模块的输出信号范围为： $-10\text{V}\sim+10\text{V}$ 、 $-20\text{mA}\sim+20\text{mA}$ 及 $0\text{mA}\sim+20\text{mA}$ 。对模拟量输出模块可以采用手动操作硬件和编程的方法对其 I/O 特性进行调整。定义 FX_{2N}-4DA 模块的数字输入量为 1 000 时的模拟量输出值为增益值；定义数字输入量为 0 时的模拟量输出值为偏移值。

调整时需注意以下几点。

(1) 当 I/O 特性很陡时灵敏度太高，输入数字量变化很小，就会引起模拟量的输出剧烈地增加或减少。

(2) 当 I/O 特性比较平缓时灵敏度太低，在输入数字量变化较小时，其相应的输出模拟量的变化更加甚微。

(3) 模拟量输出的最小值可能变化，但 FX_{2N}-4DA 模块的分辨率是固定的。

6.2 FX_{2N}-4AD 模拟量输入模块

6.2.1 FX_{2N}-4AD 模拟量输入模块的连接及设置

1. FX_{2N}-4AD 模拟量输入模块的连接

FX_{2N}-4AD 为 12 位高精度模拟量输入模块，它具有 4 个 A/D 输入通道，输入信号的类型有 $-10\text{V}\sim+10\text{V}$ 电压、 $-20\text{mA}\sim+20\text{mA}$ 和 $+4\text{mA}\sim+20\text{mA}$ 电流。每个通道可以独立指定为电压输入或电流输入。FX_{2N} 型 PLC 基本单元最多可以连接 8 台 FX_{2N}-4AD 型模拟量的输入模块。

FX_{2N}-4AD 模块的电流和电压输入信号的连接方法不同。图 6.4 所示为 FX_{2N}-4AD 模拟量输入模块的端子接线说明，图中的接线端子被连接为两个通道为电压信号输入、两个通道为电流信号输入。

2. FX_{2N}-4AD 模拟量输入模块的设置

PLC 的基本单元通过对模拟量模块中的缓冲寄存器 BFM 进行通信联络。采用 BFM 进行参数设定，并与基本单元进行数据交换。

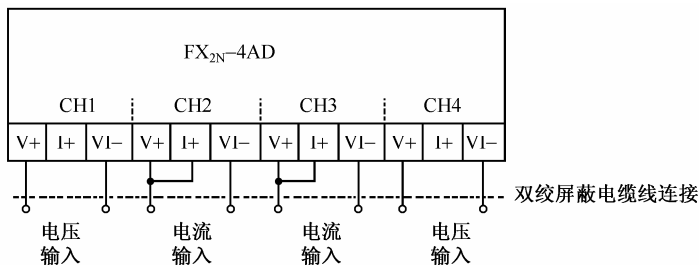


图 6.4 FX_{2N}-4AD 的接线端子说明

FX_{2N}-4AD 型模拟量输入模块的数据缓冲寄存器 BFM#0~BFM#31 的设置内容说明如下。

(1) 对 BFM#0 采用 4 位 16 进制数设置模拟量模块 1~4 通道的输入类型，缓冲寄存器 BFM#0 的设置如图 6.5 所示。例如，BFM#0 被设置为 H3310，则表示通道 1 被设定为：-10V~+10V 电压输入；通道 2 被设定为：+4mA~+20mA 电流输入；CH3、CH4 被设定为关闭。

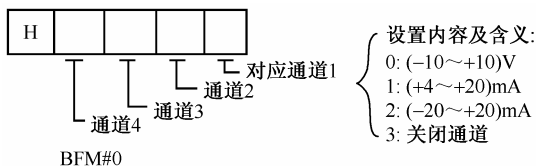


图 6.5 BFM#0 的设置说明

- (2) 由 BFM#1~BFM#4 分别设置 1~4 通道求转换数据平均值时的采样数（1~4096），默认值为 8。
- (3) BFM#5~BFM#8 用于存放 1~4 通道转换数据的平均值。
- (4) BFM#9~BFM#12 应用存放 1~4 通道转换数据的当前值。
- (5) BFM#13~BFM#14 及 BFM#16~#19 不能使用。
- (6) BFM#15 设置为 0 时，为正常转换速度（15ms/通道）；设置为 1 时，为高速转换速度（6ms/通道）。
- (7) BFM#20 被设置为 1 时，模拟量模块被激活，模块内的设置值被复位为默认值。
- (8) BFM#22 为零点和增益调整功能设置。
- (9) BFM#23、BFM#24 为零点和增益的设定值。
- (10) BFM#29 为错误状态信息，反映 FX_{2N}-4AD 功能模块的运行是否正常。
- (11) BFM#30 中存放的是模拟量模块的识别码，FX_{2N}-4AD 的识别码为 K2010。采用 FROM 指令将其读入 PLC 基本单元，用户在传送数据前可先利用识别码确认此功能模块。

6.2.2 FX_{2N}-4AD 模拟量输入模块的应用

1. FX_{2N}-4AD 功能模块的基本设置程序设计

假设 FX_{2N}-4AD 模拟量输入模块连接在最靠近 PLC 基本单元的位置（编号为 1）；要求仅开通 CH1 和 CH2 通道作为电压输入通道；计算 4 次平均值并存入 PLC 的数据寄存器 D0 和 D1 中。图 6.6 所示为使用 FX_{2N}-4AD 模拟量输入模块的梯形图程序。

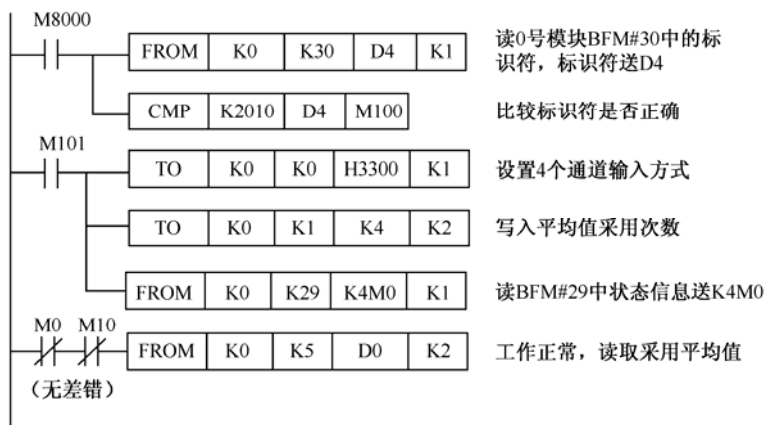


图 6.6 使用 FX_{2N}-4AD 模拟量输入模块的梯形图

2. FX_{2N}-4AD模拟量模块输入通道零点和增益调整程序的设计

假设 FX_{2N}-4AD 模拟量输入模块连接在最靠近 PLC 基本单元的位置；要求开通 CH1 通道作为电压输入通道；要求对 FX_{2N}-4AD 的 CH1 通道的电压输入信号进行零点和增益的调整，该通道的零点值为 0V，增益调整值为 2.5V。图 6.7 所示为对 FX_{2N}-4AD 输入通道零点和增益的调整程序。

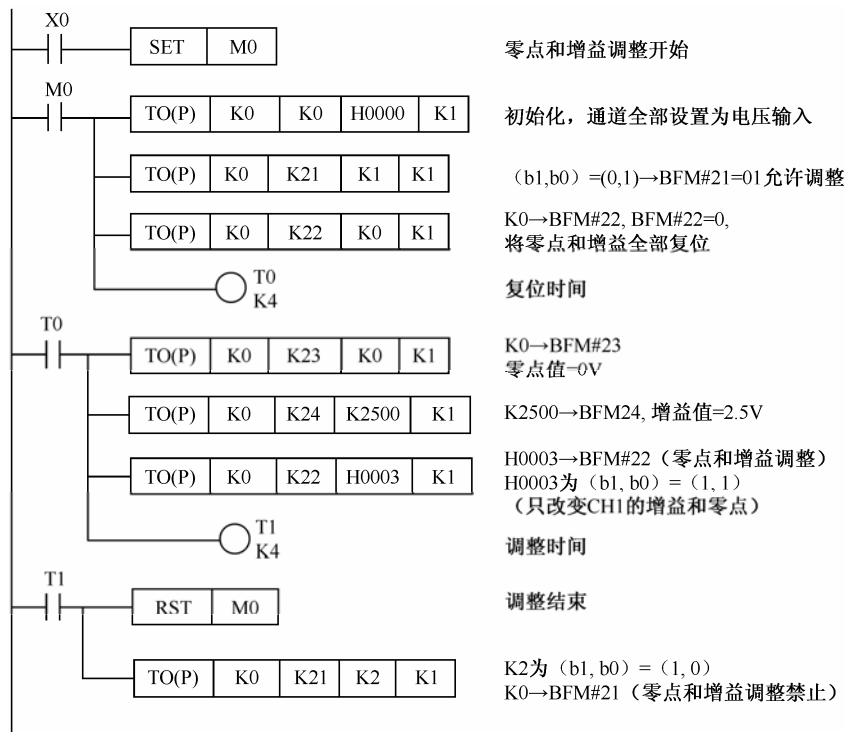


图 6.7 对 FX_{2N}-4AD 输入通道零点和增益的调整程序



6.3 FX_{2N}-4DA模拟量输出模块

6.3.1 FX_{2N}-4DA模拟量输出模块的连接及设置

1. FX_{2N}-4DA模拟量输出模块的连接

FX_{2N}-4DA 为 12 位高精度模拟量输出模块，具有 4 个 D/A 输入通道，输出信号的类型有 $-10\text{V}\sim+10\text{V}$ 电压、 $-20\text{mA}\sim+20\text{mA}$ 及 $0\text{mA}\sim+20\text{mA}$ 电流。每个通道可以独立指定为电压输入或电流输出，用于控制变频器等外部模拟量输入的设备。

FX_{2N}-4DA 模块的电流和电压输入信号的连接方法不同。图 6.8 所示为 FX_{2N}-4DA 模拟量输出模块的接线端子说明，图中的模拟量输出端被连接为 2 个电流信号输出和 2 个电压信号输出。

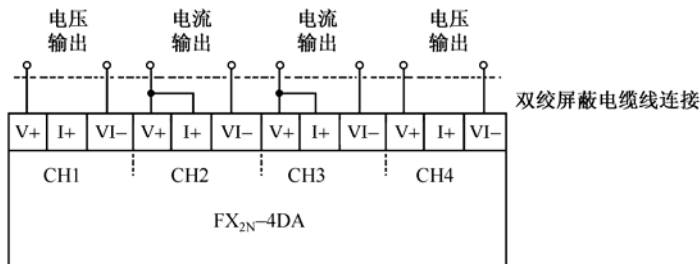


图 6.8 FX_{2N}-4DA 的接线端子说明

2. FX_{2N}-4DA模拟量输出模块的设置

PLC 的基本单元通过对模拟量输出模块中的缓冲寄存器 BFM 进行通信联络。PLC 的基本单元采用 FROM/TO（读/写）指令对特殊功能模块的 BFM 进行功能设定及数据交换。

FX_{2N}-4DA 模拟量输出模块的数据缓冲寄存器 BFM#0~BFM#31 的设置内容说明如下。

(1) 对 BFM#0 采用 4 位 16 进制数，设置模拟量输出模块 1~4 通道输出信号的类型。缓冲寄存器 BFM#0 的设置如图 6.9 所示。假如设置为 H2110，表示输出通道 1 设置为 $-10\text{V}\sim+10\text{V}$ 电压输出；通道 2 和通道 3 设置为 $+4\text{mA}\sim+20\text{mA}$ 电流输出；通道 4 设置为 $0\sim+20\text{mA}$ 电流输出。

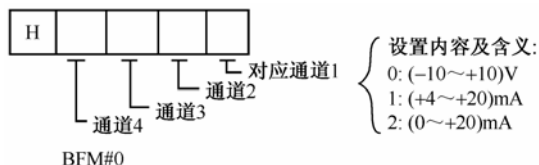


图 6.9 BFM#0 的设置说明

(2) 由 BFM#1~BFM#4 分别设置 1~4 通道数据缓冲寄存器，它们的初始值为零。

(3) BFM#5 为数据输出保持缓冲寄存器，可以设置为保留数据或复位到零点值。当



BFM#5 被设置为 H0000，PLC 从运行到停止时，其运行过程中的数据被保留。若 BFM#5 被设置为 H0011，则 CH3 和 CH4 为保持，CH1 和 CH2 为复位到偏移量。

(4) BFM#8 和 BFM#9 为零点和增益值的调整功能设定。当设置为允许调整零点和增益值时，可通过指令 TO 将要调整的数据写入到 BFM#10~BFM#17 中。

(5) BFM#10~BFM#17 为零点和增益值的设定值（调整值）。设置值的单位是 mV 或 μA 。

(6) BFM#20 为初始化设定，被设置为 1 时，FX_{2N}-4DA 输出模块的全部设置变为默认值。

(7) BFM#21 用于用户 I/O 特性的允许调整设定。可以将用户的 I/O 特性设置为“被禁止”或“被保留”。若将用户的 I/O 特性设置为被保留，则用户的 I/O 特性允许调整。

(8) BFM#29 错误状态显示缓冲寄存器。当特殊功能模块产生错误时，利用 FROM 指令可以读出错误信息。

(9) BFM#30 中存放的是特殊功能模块的识别码，FX_{2N}-4DA 的识别码为 K3020，可以在用户传送数据前，利用识别码确认此功能模块。

6.3.2 FX_{2N}-4DA 模拟量输出模块的应用

1. FX_{2N}-4DA 功能模块的基本设置程序设计

假设 FX_{2N}-4DA 模拟量输出模块的编号为 1 号；要求 CH1 和 CH2 通道作为 -10V~+10V 的电压输出通道、CH3、CH4 通道为 0~+20mA 的电流输出通道；当 PLC 从 RUN 转为 STOP 状态后，要求 CH1、CH2 的输出值保持不变，CH3、CH4 的输出回零。图 6.10 所示为使用 FX_{2N}-4DA 模拟量输出模块的设置程序。

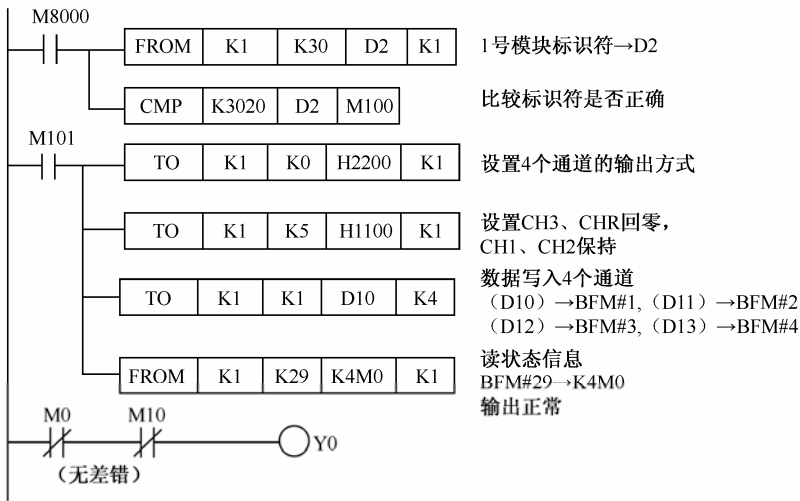


图 6.10 使用 FX_{2N}-4DA 功能模块的基本设置程序

2. FX_{2N}-4DA 模块的输出设置程序的设计

假设 FX_{2N}-4DA 模拟量输出模块的编号为 1 号；要求将 PLC 基本单元的 D10~D13 中的数据通过 FX_{2N}-4DA 功能模块的 4 个输出通道输出；要求 CH1、CH2 设置为 -10V~+10V 的

零点和增益调整开始

H0010→BFM#0（通道初始化）
设置CH2为4mA~20mA

K1→BFM#21（允许调整输出特性）

K7000→BFM#12
设置零点值：7mA

H2000→BFM#13
设置增益数据：20mA

H1100→BFM#8
设置CH2零点/增益允许调整范围

调整结束

K2为（b1，b0）=(1,0)
K2→BFM#21（零点和增益调整禁止）

图 6.11 使用 FX_{2N}-4DA 模拟量模块的梯形图程序

6.4 FX_{2N}-4AD-PT温度模拟量输入模块

温度模拟量输入模块用于将温度传感器输出的电信号转换成数字量的信号, 和 PLC 的基本单元配合用于生产过程中模拟量的闭环控制。

6.4.1 FX_{2N}-4AD-PT温度模拟量输入模块设置

1. FX_{2N}-4AD-PT温度模拟量输入模块的连接

FX_{2N}-4AD-PT 为高精度温度模拟量输入模块,该模块有 4 个 A/D 输入通道,将 4 个铂电阻温度传感器的输入信号放大后,再转换成 12 位的可读数据存储在主处理单元(MPU)中。该模块对摄氏度和华氏度都可以读取。图 6.12 所示为 FX_{2N}-4AD-PT 温度模拟量输入模块的端子接线说明。图中, Pt100 为铂电阻温度传感器,采用三线制连接方式,要求采用传感器的电缆或双绞屏蔽线作为模拟量的输入电缆。

2. FX_{2N}-4AD-PT温度模拟量输入模块的设置

PLC 的基本单元通过对温度模拟量模块中的缓冲寄存器 BFM 进行通信联络, 采用



FROM/TO 指令进行参数设置和数据交换。FX_{2N}-4AD-PT 模块的数据缓冲寄存器 BFM#0~BFM#31 的设置内容说明如下。

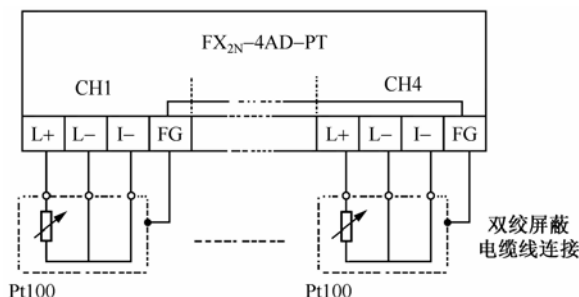


图 6.12 FX_{2N}-4AD-PT 的接线端子说明

(1) BFM#1~BFM#4 分别为 1~4 通道采样值的平均值。1~4096 为采样平均值有效范围，溢出的值将被忽略，默认值为 8。

(2) BFM#5~BFM#8 和 BFM#13~BFM#16 为最近转换数据的一些可读平均值。

(3) BFM#9~BFM#12 和 BFM#17~BFM#20 用于保持输入数据的当前值，两者的单位分别为 0.1℃和 0.1°F。分别是通道 1~4 转换数据的当前值。

(4) BFM#28 为数字范围错误锁存。BFM#28 锁存每个通道的错误信息，用于检查热电偶是否断开。采用 TO 指令给 BFM 写入 K0 或者关闭电源，可以清除错误。

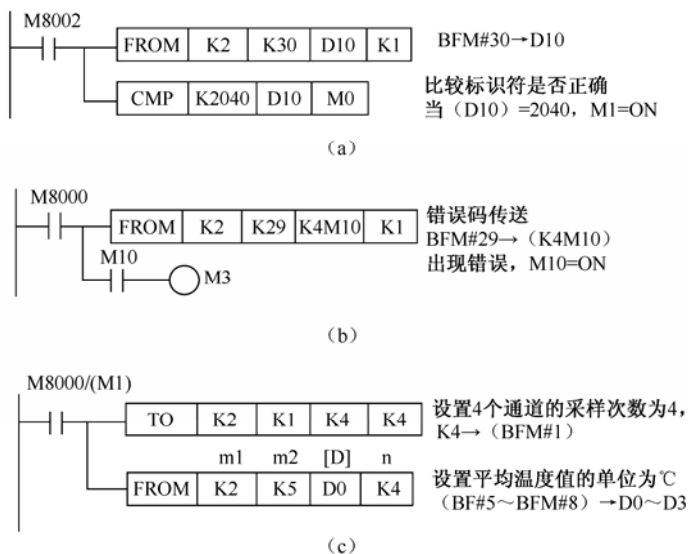
(5) BFM#29 为数字范围的错误状态。依据 BFM#29 中的内容可以判断温度测量值是否在允许的范围内。

(6) BFM#30 中存放的是特殊功能模块的识别码，FX_{2N}-4AD-PT 单元的识别码为 K2040。在 PLC 用户程序中使用这个号码，可以在数据交换前确认此功能模块。

6.4.2 FX_{2N}-4AD-PT 温度模拟量输入模块的应用

FX_{2N}-4AD-PT 功能模块的应用程序设计。假设 FX_{2N}-4AD-PT 模拟量输入模块的编号为 2 号，即安置在第 3 个紧靠 PLC 基本单元的位置；要求 4 个通道的模拟输入量的采样次数为 4；CH1~CH4 通道的数据单位为℃；将 4 个通道的数据分别存放到 PLC 基本单元的数据寄存器 D0~D3 中。

图 6.13 所示为使用 FX_{2N}-4AD-PT 模拟量输入模块的梯形图程序。图 6.13 (a) 程序用于检查系统的正确配置，BFM#30 中的内容为模块的标识码，K2040 为 FX_{2N}-4AD-PT 的标识码。图 6.13 (b) 程序用于出错检查，如果在 FX_{2N}-4AD-PT 中存在错误，BFM#29 的 b0 位将为 ON，可以由程序控制读出，并输出控制信号（此例中是 M3=ON）。图 6.13 (c) 所示程序，采用 TO 写指令设置输入通道及采样值平均值的次数，采用 FROM 读指令读取 FX_{2N}-4AD-PT 的 4 个输入通道的平均温度值，并存放到 PLC 基本单元的数据寄存器中，FROM 指令中 K2 为模拟量模块的编号，K4 为待传送数据的缓冲寄存器 BFM 的个数，K5 为 BFM 的首元件号。

图 6.13 使用 FX_{2N}-4AD-PT 模拟量输入模块的梯形图程序

6.5 FX_{2N}-2LC过程控制模块

FX_{2N}-2LC 为过程控制模块，采用该模拟量模块可以实现过程参数的 PID 控制。PID 控制是通过设置 P（比例系数）、I（积分时间）和 D（微分时间）实现控制的。FX_{2N}-2LC 模块的 PID 控制程序由 PLC 生产厂家设计并存储在模块中。用户使用时只需要设置其内部的缓冲寄存器（BFM）中的一些参数，就可以实现 PID 的控制规律。FX_{2N}-2LC 模块一般用于大型的生产过程控制系统中。

1. FX_{2N}-2LC 模块的特点

FX_{2N}-2LC 模块有以下特点。

(1) 有 2 个温度信号输入通道和 2 个晶体管电路输出通道。可接入热电偶或热电阻温度传感器。

(2) 一个模块能同时控制两个闭环温度过程控制系统。

(3) 模块提供具有自整定的 PID 控制、位式控制（继电器控制）和 PI 控制。

(4) 电流探测器（CT）能探测到输入信号的断线故障。

2. FX_{2N}-2LC 模块的连接

(1) 编号。FX_{2N}-2LC 模块采用扩展电缆与 PLC 基本单元相连，PLC 基本单元将 FX_{2N}-2LC 模块视为特殊功能模块，编号的方法同样是采用 PLC 基本单元对特殊功能模块的编号方法，最多可连接 8 台功能模块，依据功能模块距 PLC 基本单元的位置，将对应的编号 0~7 自动分配给每一个 FX_{2N}-2LC。这些编号将被 FROM/TO 读/写指令使用。

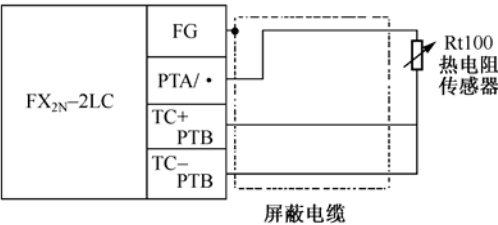
(2) 连接。图 6.14（a）所示为 FX_{2N}-2LC 模块的接线端子示意图。当 FX_{2N}-2LC 模块接



入热电阻温度传感器时，接线方式如图 6.14（b）所示。当 FX_{2N} -2LC 模块接入热电偶温度传感器时，接线方式如图 6.15 所示。

	24-	OUT1	OUT2		CT	FG	TC ₋ PTB		CT	FG	TC ₋ PTB
24+		COM			CT	PTA	TC ₊ PTB		CT	PTA	TC ₊ PTB

(a) FX_{2N}-2LC模块的接线端子示意图



(b)

图 6.14 FX_{2N} -2LC 模块接入热电阻温度传感器

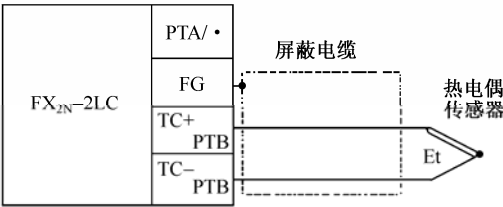


图 6.15 FX_{2N} -2LC 模块接入热电偶温度传感器

3. FX_{2N}-2LC模块的输入规格

FX_{2N}-2LC 温度调节模块的输入规格如表 6.1 所示。

表 6.1 FX_{2N}-2LC 温度调节模块的输入规格

项 目			描 述
温度 输入	输入点数		2 点
	输入 类型	热电偶	K、J、R、S、E、T、N、PL II、Wre6~26、U、L
		电阻温度计球	Pt100、JPt100
	测量精度		环境温度为 23℃±6℃时，±0.3%输出量程值±1 个字； 环境温度为 0℃~60℃时，±0.7%输出量程值±1 个字
	冷触点温度补偿误差		在常规的冷端补偿误差温度补偿范围内，补偿误差为±1℃； 当输入值为-160℃~-100℃时，补偿误差为±2℃； 当输入值为-200℃~-160℃时，补偿误差为±3℃
	分辨率		0.1℃ (0.1°F) 或 1℃ (1°F) (随使用的传感器输入的变化而变化)
	采样周期		600ms
	外电阻的效果		近似 0.36mV/Ω
	输入阻抗		1MΩ或更大
	传感器电流		近似 0.36mA



续表

项 目		描 述
温度 输入	允许输入主线电阻	10Ω或更小
	当输入断开时运转	偏向高刻度
	当输入短路时运转	偏向低刻度
CT 输入	输入数	2 点
	电流探测器	CTR-12-S36-8 或 CTL-6-P-H (U.R.D 公司生产)
	加热器电流测量值	当使用 CTR-12 时: 0~100A; 当使用 CTR-6 时: 0~30A
	测量精度	在输入值的±6%和 2A 之间较大的一个(不包括电流探测器精度)
	采样周期	1s

4. FX_{2N}-2LC模块的输出规格

FX_{2N}-2LC 温度调节模块的输出规格如表 6.2 所示。

表 6.2 FX_{2N}-2LC 温度调节模块的输出规格

项 目	描 述
输出点数	2 点
输出方法	晶体管集电极开路输出
额定负载电压	DC6~24V; 大负载电压: DC≤30V
额定负载电流	100 mA 时, 在“关”状态时泄漏电流不超过 0.1 mA
在 ON 状态时的最大电压降	在 10 mA 时为 2.6 V (最大)或 1.0 V (典型)
控制输出周期	30 s (变化范围 1~100 s)

习题 6

- 6.1 FX 系列 PLC 特殊功能模块有哪些? 其功能和用途是什么?
- 6.2 使用 FX_{2N}-4AD 和 FX_{2N}-4DA 模块时有哪些设置内容及设置方法?
- 6.3 简述用于特殊功能模块的 FROM/TO 指令的操作功能及其各个操作数的含义。
- 6.4 FX_{2N}-4AD 和 FX_{2N}-4DA 各自的识别码是多少?
- 6.5 试对一个采用 FX_{2N} 系列 PLC 和 FX_{2N}-4AD 模块组成的控制系统编写梯形图程序。该 FX_{2N}-4AD 模块的位置编号为 2, 要求通道 1 为 4mA~20mA 电流输入, 通道 2 为-10V~+10V 电压输入, 通道 3 和通道 4 关闭; 要求将 10 次采样的平均值存放到 PLC 基本单元的 D30 和 D40 中。

可编程序控制器的实际应用

本章要点

1. PLC 控制系统的设计步骤。
2. 功能图设计顺序控制程序的方法。
3. PLC 在过程控制中的应用。

7.1 PLC控制系统的设计

7.1.1 PLC控制系统设计的步骤和内容

1. PLC控制系统设计的基本原则

任何一个控制系统的设计都是以实现被控对象的工艺要求为前提，以提高生产效率、产品质量和生产安全为准则，因此，在设计 PLC 控制系统时，应遵循以下基本原则。

- (1) 最大限度地满足被控对象和用户的要求。
- (2) 在满足要求的前提下，力求使控制系统简单，使用方便，一次性投资小，使用后节约能源。
- (3) 保证控制系统安全、可靠，使用、维修方便。
- (4) 考虑到今后的发展和工艺的改进，在配置硬件设备时应留有一定的裕量。

2. PLC控制系统设计的步骤

图 7.1 所示为 PLC 控制系统设计的一般步骤。首先应根据系统控制任务和要求，在分析工艺条件和控制要求的基础上，确定 PLC 控制的基本方式、要完成的动作、自动工作循环的组成、自动控制的动作顺序、必须的保护和连锁条件及故障指示等，在此基础上，根据控制任务确定 PLC 的机型，进行 I/O 地址分配，画出 I/O 接线图。

对较复杂的控制系统，应根据生产工艺要求设计控制流程图，画出工作循环图表或画出详细的功能图。根据功能图或控制流程图设计出梯形图，将编好的指令程序输入到 PLC 的程



序存储器中。

在进行软件设计的同时，还要进行控制系统的硬件设计。硬件设计的内容包括：电动机主电路及元器件的选择；主令元件、传感器及执行元件的选择；PLC 的 I/O 接线图；输出电路的外接电源；控制柜的结构以及柜内供配电装置等。

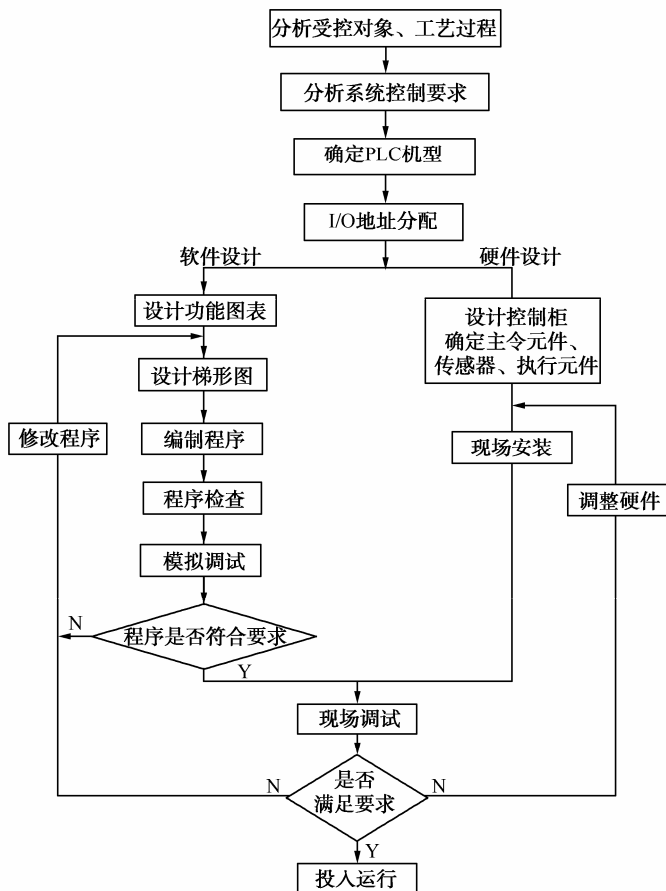


图 7.1 PLC 控制系统设计的一般步骤

程序的初步调试是在模拟状态下进行的。如果控制系统是由几个部分组成，应先做局部调试，然后再进行整体调试。如果控制系统的步骤较多，则可先进行分段调试，然后再连接起来统调。

现场调试是对实际受控对象进行调试。首先应仔细检查 PLC 的外部接线，硬件检查完毕后，将初步调试好的用户程序进行总调试。总调试时也可以采用先做局部调试试验或分段调试，直到各部分的功能都正常，并能协调一致贯通成一个完整的体系为止。对程序不能满足要求的，可以对硬件、软件进行调整，通常只需要修改程序即可达到调整的目的。全部调试好以后，将程序固化到存储器中，交用户使用。

3. PLC控制系统设计的基本内容

(1) 制定控制系统设计的技术条件。技术条件一般以设计任务书的形式来确定，它是整



个系统设计的依据。

- (2) 选择主令元件和检测元件、电力拖动形式和电动机、电磁阀、调节阀等执行机构。
- (3) 选择 PLC 的型号。
- (4) 分配 PLC 的 I/O 点数，绘制 PLC 的 I/O 硬件接线图。
- (5) 设计控制系统的梯形图并调试。
- (6) 设计控制面板、电气控制柜以及安装接线图等。
- (7) 编写设计说明图和使用说明书。

7.1.2 PLC 硬件的选择

PLC 的种类非常多，可以根据控制要求及 PLC 的功能、I/O 点数、存储容量，以及安全可靠、维修方便、性价比高因素加以综合考虑。对于一个企业，应尽量统一 PLC 的机型，这样其外部设备通用，资源可共享，也易于联网通信，便于组成分布式控制系统。

1. PLC 的 I/O 点数选择

首先要考虑控制要求，在这一前提下，还要兼顾价格及备用裕量。通常 I/O 点数是根据受控对象的输入、输出信号的实际需要，再加上 10%~30% 的备用量来确定的。

2. PLC 结构形式的选择

对于整体结构式的 PLC，其每一个 I/O 点的平均价格比模块式便宜，且体积相对较小，所以一般用于系统工艺过程较为固定的系统；而模块式 PLC 的功能扩展灵活方便，在 I/O 点数、I/O 模块的种类等方面，选择余地大，维修时只需更换模块，同时故障判断也很方便，因此，模块式 PLC 一般用于较复杂的系统和工作环境较差的场合。

3. PLC 安装方式的选择

PLC 的安装方式可分为集中式、远程式和多台联网分布式。集中式不需要设置驱动远程 I/O 硬件，系统反应快、成本低。大型系统经常采用远程 I/O 式，因为它们装置分布范围很广。对于多台联网的分布式控制，采用多台设备分别独立控制且相互之间采用通信联系方式时，则要选择具有较强通信功能的小型机。

4. PLC 功能的选择

PLC 的功能主要有逻辑运算、算术运算、计时、计数、数据处理、PID 运算和通信功能。对于以开关量控制为主，带少量模拟量控制的系统，可以选用小型的且能配接 A/D 和 D/A 转换，具有加减算术运算、数据传送功能的 PLC。对于控制系统较复杂，要求实现 PID 运算、闭环控制、通信联网等功能，可按控制规模的大小及复杂程度，选用中型或大型 PLC。

7.1.3 控制程序的设计方法

常用的 PLC 程序设计方法有经验法和顺序功能图法。



1. 经验法

经验法设计控制程序的步骤为：了解受控设备及其工艺过程，分析控制系统的要求，选择控制方案；设计主令元件和检测元件，确定输入/输出信号；设计基本控制程序；在程序中加入连锁、互锁关系；设置必要的保护措施，检查、修改和完善程序。

经验设计法由于不规范，给使用和维护带来不便，也给控制系统的改进带来很多的困难，因此经验设计法一般仅适用于简单的梯形图设计。

2. 顺序功能图法

功能图和步进指令设计程序的方法易被初学者接受，设计的程序规范、直观，易阅读，也便于修改和调试。

7.1.4 减少所需I/O点数的方法

在工程设计中，经常遇到 I/O 点不够用的问题，如果直接增加硬件配置，会加大投资量，在实际设计时，可以采用改进接线与编程相结合的方法，减少所需 PLC 的 I/O 点数。

1. 减少输入点数的措施

（1）分组输入。某些控制系统存在多种工作方式，但系统工作时又只选择其中的一种工作方式运行，各种工作方式的程序不可能同时执行。例如，系统的自动程序和手动程序就不会同时执行，所以可以将几种工作方式分别使用的输入信号分成若干组，由于 PLC 运行时只会用到其中的一组信号，因此各组输入可以共用 PLC 的输入点，这样就使所需的 PLC 的输入点数减少。

分组输入接线方式如图 7.2 所示，X0 用于自动/手动切换控制，将自动/手动分别使用的输入信号分成两组：“自动”输入信号 SB3、SB4，“手动”输入信号 SB1、SB2。两组输入信号分别共用 PLC 的输入点 X1 和 X2，用工作方式选择开关 SA 来切换，并通过输入信号 X0 让 PLC 识别是“自动”还是“手动”信号，从而执行自动程序或手动程序。图中的二极管是用来切断寄生信号的，避免错误信号的产生，可见用一个输入端就可以分别反映两个输入信号的状态，节省了输入点数。

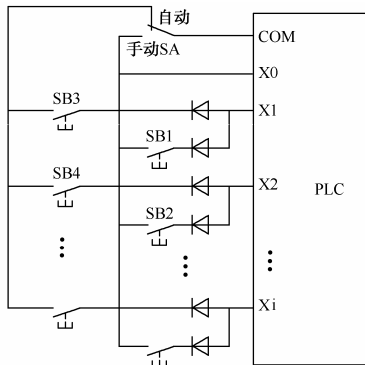


图 7.2 分组输入接线方式



(2) 将控制功能相同的操作开关并联连接。对于多个功能相同的操作按钮，在 PLC 输入点数较多的情况下，可以采用一般的接线方式，即一个操作按钮接到一个输入端。但当 PLC 的输入点数不够用时，可以采用并联连接的方式，如图 7.3 所示。

另外，还有矩阵式的输入方式。除此之外，对于某些功能简单、涉及面窄的输入操作按钮，如某些手动按钮、电机过载保护的热继电器触点等，放在外部电路可以满足控制要求的，就可以不进 PLC 的输入端。

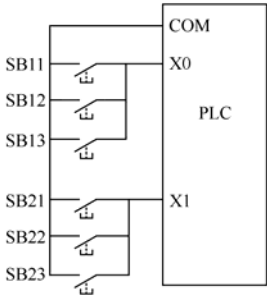


图 7.3 并联连接输入接线方式

2. 减少输出点数的措施

(1) 分组输出。当两组负载不会同时工作时，可以通过外部转换开关或通过受 PLC 控制的电器触点进行切换，这样 PLC 的每个输出点可以控制两个不会同时工作的负载。如图 7.4 所示，KM1、KM3、KM5 和 KM2、KM4、KM6 两组执行元件不会同时接通，采用外部转换开关 SA 进行切换。

(2) 并联输出。两个通断状态完全相同的负载，可并联后共用 PLC 的一个输出端子。采用这种方式必须要注意 PLC 输出端子驱动负载的能力。

(3) 用编程方式使负载具有多个功能，用一个负载实现多种用途，也可以节省输出端子。例如利用 PLC 编程的功能，用一个输出端指示灯的两种不同状态（如常亮和闪烁发亮）表示两种不同的信息，可以节省输出点数。除此之外，还可以将一些相对独立、比较简单的控制部分，不通过 PLC 而直接用继电器控制。

(4) PLC 和 LED 数字显示器件的连接。用 LED 数码显示器显示时，可以选用 MAXIN 公司生产的 LED 数码显示器驱动芯片 MAX8219，它与 PLC 采用 3 线串行接口，只占用 PLC 的 3 个输出端，可以驱动 8 个 LED 数码管，通过级联可以成倍增加扩展数码管的数量，能够满足多位数的数字显示，如图 7.5 所示。

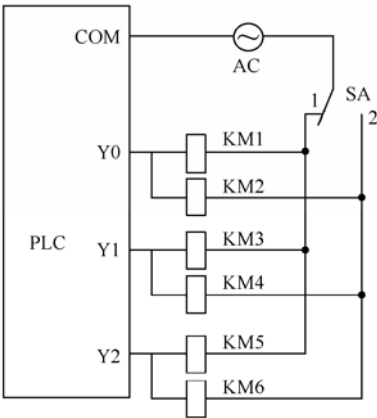


图 7.4 分组输出方式

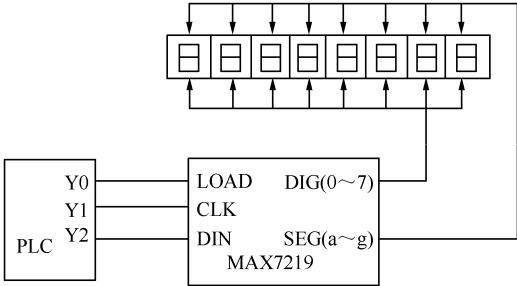


图 7.5 用 MAX8219 实现 PLC 和数字显示器的连接

在图 7.5 中，CLK 为时钟输入端，Y1 为 PLC 输出的串行数据，串行数据在时钟 CLK 的上升沿有效；LOAD 为加载数据输入端，在 LOAD 为低时允许数据输入，LOAD 由低到高，



将串行输入的数据锁存到 MAX8219 内部 16 位移位寄存器中。8 个段码驱动信号 SEG (a~g) 和 dp (小数点显示驱动) 接每个显示器相应的段, 8 个位选驱动信号 DIG (0~7) 分别接显示器的共阴极公共地。

7.1.5 程序的调试与运行

PLC 程序调试和运行的步骤如下:

(1) 程序的检查。将编好的程序输入编程器进行检查, 改正语法和数据错误后存入 PLC 的存储器中。

(2) 模拟运行。模拟系统实际的输入信号, 在程序运行中的适当时刻, 通过手动操作开关, 接通或断开输入信号, 来模拟各种机械动作使检测元件状态发生变化, 同时通过 PLC 输出端状态指示灯的变化来观察程序执行的情况, 与执行元件应该完成的动作相对照, 判断程序的正确性。

(3) 实物调试。采用现场的主令元件、检测元件及执行元件组成模拟控制系统, 检验检测元件的可靠性及 PLC 的实际负载能力。

(4) 现场调试。在现场安装完毕后进行现场调试, 对一些参数 (检测元件的位置、定时器的设定常数等) 进行现场的整定和调整。

(5) 投入运行。最后对系统的所有安全措施 (接地、保护、互锁等) 进行检查后, 即可投入系统的试运行。试运行一切正常后, 再把程序固化到 EPROM 中去。

7.2 PLC在顺序控制中的应用

7.2.1 PLC在机械加工中的应用

1. 机械手的PLC控制

图 7.6 为一机械手的动作示意图, 该机械手可以上下、左右动作。机械手的上下与左右运动分别由双线圈双位电磁阀驱动气缸来控制, 一旦某个方向的电磁阀得电, 机械手就一直保持当前状态, 直到另一个电磁阀得电后, 才终止机械手的动作。机械手的夹紧与放松动作是由一个单线圈两位电磁阀驱动汽缸来实现的, 要求控制夹紧和放松动作的时间。线圈得电时机械手夹紧, 断电时机械手放松。机械手运动示意图如图 7.7 所示。

机械手的控制要求如下:

- (1) 初始位置。机械手停在初始位置 (原点) 上, 其上限位开关和左限位开关闭合。
- (2) 起动状态。
 - ① 机械手由初始位置开始向下运动, 直到下限位开关闭合;
 - ② 机械手夹紧工件, 时间为 1s;
 - ③ 夹紧工件后向上运动, 直到上限位开关闭合;
 - ④ 再向右运动, 直到右限位开关闭合;

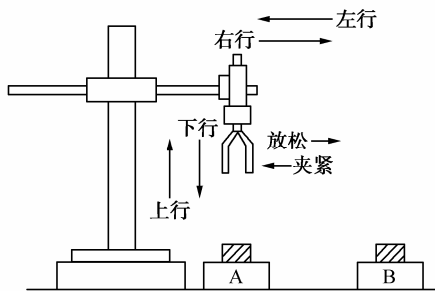


图 7.6 机械手的动作示意图

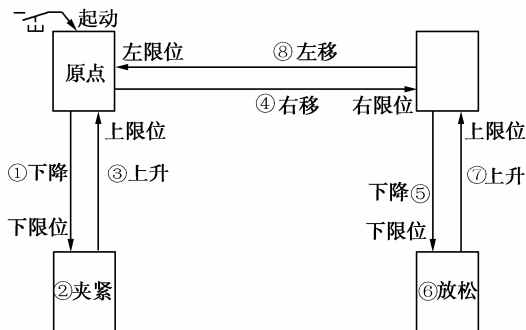


图 7.7 机械手运动示意图

- ⑤ 再向下运动，直到下限位开关闭合；
- ⑥ 机械手将工件放到工作台上，其放松的时间为 1s；
- ⑦ 再向上运动，直到上限位开关闭合；
- ⑧ 再向左运动，直到左限位开关闭合，一个工作周期结束；
- ⑨ 机械手返回到初始状态，循环工作下去。

(3) 停止状态。按下停止按钮后，机械手要将当前工作周期的动作完成后，才能返回到初始位置。

(4) 机械手动作操作方式。要求机械手有 4 种操作方式，即点动工作方式、单步工作方式、单周期工作方式和连续（自动）工作方式。

2. PLC 控制程序设计

(1) I/O 地址分配。根据机械手要完成的动作及 4 种工作方式，设定输入/输出控制信号，其 I/O 地址分配如表 7.1 所示。

表 7.1 I/O 地址分配

输入 信 号				输 出 信 号	
下限位开关	X1	下降按钮	X10	下降	Y0
上限位开关	X2	左移按钮	X6	夹紧/放松	Y1
右限位开关	X3	右移按钮	X11	上升	Y2
左限位开关	X4	夹紧按钮	X12	右移	Y3
上升按钮	X5	放松按钮	X7	左移	Y4

(2) 机械手的工作方式。机械手工作方式的 PLC 操作面板如图 7.8 所示。操作面板上设置的开关可以实现机械手的各种工作方式的切换。现对面板操作开关做如下说明：

① 手动工作方式。首先将工作方式选择开关置于手动位置，再通过操作面板上的各个按钮（X5、X10、X12、X7、X6、X11）控制机械手完成其相应的动作，即机械手的上升和下降、夹紧和放松、左移和右移。

② 单步工作方式。将工作方式选择开关置于单步位置，按动一次起动按钮 X26，机械手前进一个工步。

③ 单周期工作方式。将工作方式选择开关置于单周期位置，机械手在起点时，按下起动按钮 X26，机械手自动运行一个循环的动作后再返回起点停止。

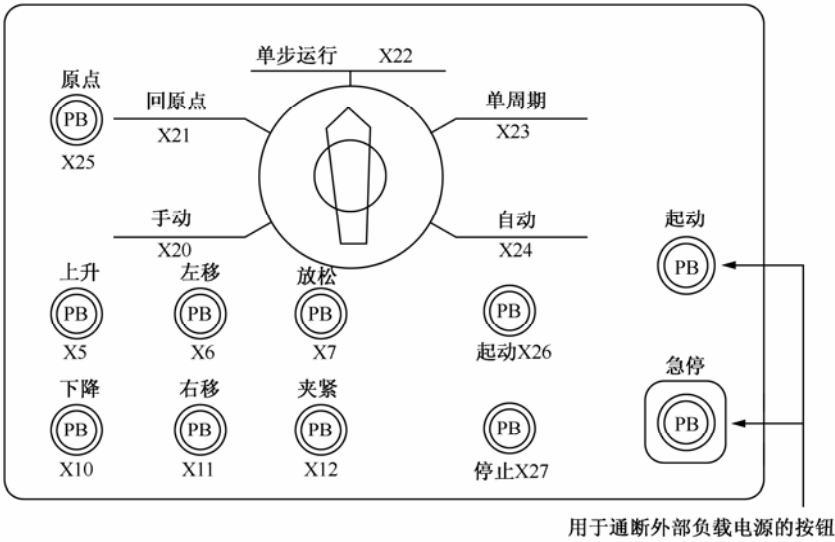


图 7.8 操作面板

④ 自动（连续）工作方式。将工作方式选择开关置于自动工作位置，机械手在原点时，按下启动按钮 X26，机械手可以连续反复的运行。若中途按动停止按钮 X27，机械手也只能运行到原点后才停止。

⑤ 回原点。将工作方式选择开关置于回原点位置，按下按钮 X25，机械手自动回到原位。

⑥ 面板上设置的另一组启动按钮和急停按钮无 PLC 的 I/O 编号，说明它们不进入 PLC 的内部，与 PLC 运行程序无关。这两个按钮是用来接通或断开 PLC 外部负载电源的。

（3）机械手控制系统的程序设计。

① 初始状态设定。利用功能指令 FNC60（IST）自动设定与各个运行方式相应的初始状态及首元件编号。图 7.9 所示为系统的初始化梯形图，图中 X20 是输入的首元件编号，S20 是自动方式下所用步状态器的最小编号，S27 是步状态器的最大编号。当功能指令 IST 满足执行条件时，下面的初始状态器及相应的特殊辅助继电器自动被指定为表 7.2 中的功能。

表 7.2 初始状态器、特殊辅助继电器的功能

S0：手动操作初始状态	M8048：禁止转移	M8042：启动脉冲
S1：回原点初始状态	M8041：开始转移	M8048：STL 监控有效
S2：自动操作初始状态		

图 7.9 中 IST 指令的原操作数 X20 用来指定与工作方式有关的输入继电器的首元件，即指定从 X20 开始的 8 个输入继电器，这 8 个输入继电器编号及功能如表 7.3 所示。

表 7.3 输入继电器编号及功能

X20：手动	X23：单周期运行	X26：启动
X21：回原点	X24：连续运行	X27：停止
X22：单步方式	X25：回原点启动	



表 7.3 中的 X20~X24 这 5 个输入继电器只能单独为 ON 状态，必须使用工作方式选择开关，以保证 5 个输入端不能同时为 ON 状态。

② 初始化程序。一个控制程序必须有初始化功能，程序的初始化功能就是自动设定控制程序的初始化参数。机械手控制系统的初始化程序是设定初始状态和原点位置条件。图 7.9 中的特殊辅助继电器 M8044 作为原点位置条件使用，M8044 为 FX 系列 PLC 的原点条件继电器。当原点位置条件满足时，M8044 接通，用 M8044 得电作为执行自动程序的进入条件。其他初始状态是由 IST 指令自动设定的。需要指出的是，初始化程序是在开始执行程序时执行一次，其结果存在寄存器中，这些状态在程序执行过程中大部分都不再变化，但 S2 的状态例外，它随着程序的执行而变化。

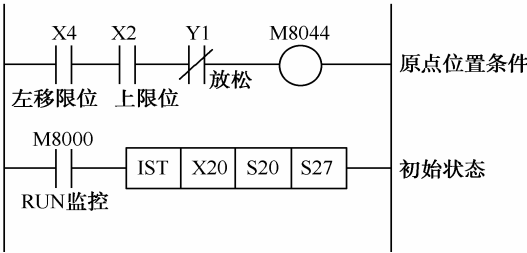


图 7.9 初始化梯形图

③ 手动工作方式的程序。图 7.10 所示为手动工作方式的梯形图，S0 为手动方式时的初始状态，由初始化程序确定。机械手在手动工作方式下，按下 X12，Y1 被置位实现夹紧动作，按下 X7，Y1 被复位实现放松动作。同理上升、下降、左移、右移是由相应的按钮来控制的。在上升、下降和左移、右移的控制作用中加入互锁作用。上限位开关 X2=ON 为左移、右移的进入条件，即机械手必须处于最上端位置时才能进行左、右移动动作。

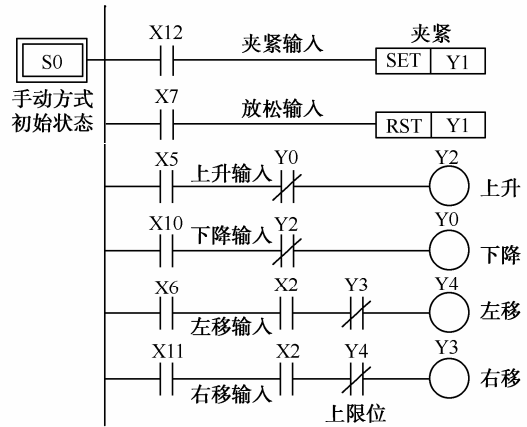


图 7.10 手动方式梯形图

④ 回原点方式。图 7.11 所示为机械手回原点方式的功能图，图中 S1 是回原点的初始状态，由初始化程序使 S1 置位。当按下原点按钮 X25=ON，状态转移到 S10，Y1 复位机械手放松，机械手下降驱动端 Y0 被复位，Y2 得电，机械手上升直至上限位开关 X2 闭合，状态转移到 S11，右移驱动端 Y3 被复位，Y4 得电，机械手左移，直至左限位开关 X4 闭合，状



态转移到 S12，M8043 置位（表明回原点结束），同时给 S21 复位，使机械手的 Y1（夹紧）失电复位（参见机械手自动方式功能图 7.12），此时机械手停在原位（最上端、最左端），Y1（夹紧）、Y2（放松）都复位，回原点结束。M8043 是 FX 系列 PLC 的回原点结束标志继电器。

⑤ 自动工作方式。图 7.12 所示为机械手自动方式功能图。图中，S2 是自动方式的初始状态，状态器 S2、状态转移开始辅助继电器 M8041 及原点位置条件辅助继电器 M8044 的状态都是在初始化程序中设定的，在程序运行中不再改变。

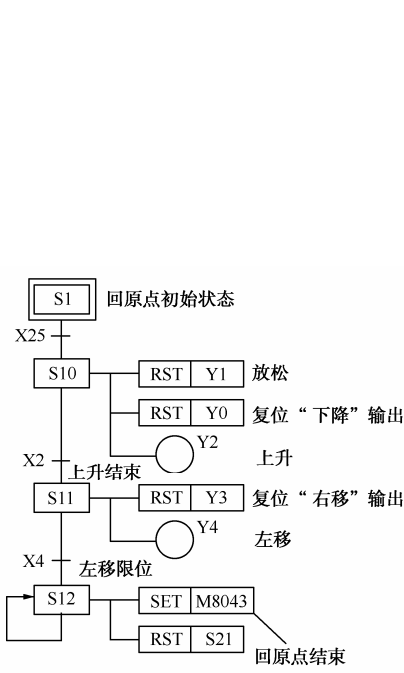


图 7.11 回原点方式

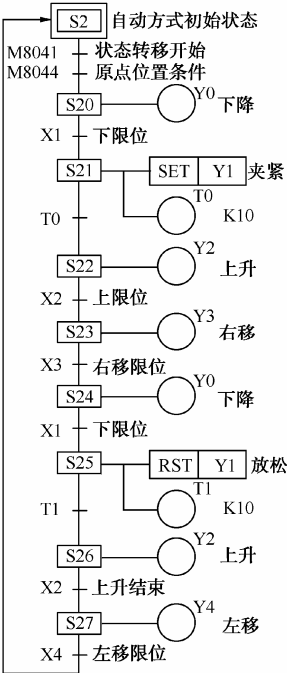


图 7.12 机械手自动方式功能图

当辅助继电器 M8041、M8044 闭合时，状态从 S2 向 S20 转移，S20 置位，Y0 得电，机械手下降，当下降运行到下限位开关 X1 闭合时，状态转移到 S21（S20 自动复位，Y0 失电），Y1 得电，机械手夹紧工件，同时定时器 T0 开始计时，当 1s 时间到时 T0 触点闭合，状态转移到 S22，Y2 得电，机械手上升，一直到上限位开关闭合 X2 时，状态转移到 S23，Y3 得电，机械手右移，一直到右限位开关 X3 闭合时，转移到 S24，Y0 得电，机械手下降，直到下限位开关 X1 又闭合时，状态转移到 S25，使得 Y1 复位，机械手松开工件，同时启动定时器 T1，经过 1s 延时时间后状态转移到 S26，Y2 得电，机械手上升，直到上限位开关闭合时，状态转移到 S27，Y4 得电，机械手左移到左限位开关 X4 闭合，返回到 S2，又进入下一个周期的工作过程。

⑥ 指令语句表。将上面设计的几部分梯形图转换成指令语句，如表 7.4 所示。

表 7.4 指令语句表

步序号	助记符	数据	步序号	助记符	数据	步序号	助记符	数据
000	LD	X4	026	LD	X25	054	SET	S22
001	AND	X2	027	SET	S10	055	STL	S22



续表

步序号	助记符	数据	步序号	助记符	数据	步序号	助记符	数据
002	ANI	Y1	028	STL	S10	056	OUT	Y2
003	OUT	M8044	029	RST	Y1	057	LD	X2
004	LD	M8000	030	RST	Y0	058	SET	S23
005	IST		031	OUT	Y2	059	STL	S23
		X20	032	LD	X2	060	OUT	Y3
		S20	033	SET	S11	061	LD	X3
		S27	034	STL	S11	062	SET	S24
006	STL	S0	035	RST	Y3	063	STL	S24
007	LD	X12	036	OUT	Y4	064	OUT	Y0
008	SET	Y1	037	LD	X4	065	LD	X1
009	LD	X7	038	SET	S12	066	SET	S25
010	RST	Y1	039	STL	S12	067	STL	S25
011	LD	X5	040	SET	M8043	068	RST	Y1
012	ANI	Y0	041	RST	S12	069	OUT	T1
013	OUT	Y2	042	STL	S2			K10
014	LD	X10	043	LD	M8041	070	LD	T1
015	ANI	Y2	044	AND	M8044	071	SET	S26
016	OUT	Y0	045	SET	S20	072	STL	S26
017	LD	X6	046	STL	S20	073	OUT	Y2
018	AND	X2	047	OUT	Y0	074	LD	X2
019	ANI	Y3	048	LD	X1	075	SET	S27
020	OUT	Y4	049	SET	S21	076	STL	S27
021	LD	X11	050	STL	S21	077	OUT	Y4
022	AND	X2	051	SET	Y1	078	LD	X4
023	ANI	Y4	052	OUT	T0	079	SET	S2
024	OUT	Y3			K10	080	RET	
025	STL	S1	053	LD	T0	081	END	

7.2.2 按钮式交通灯的控制

1. 按钮式交通灯的控制要求

采用 PLC 对很少有行人通过的公路实现按钮式交通灯的自动控制。图 7.13 所示为按钮式交通灯控制示意图。具体的控制要求为：无人通过公路时，车道始终为绿灯，人行道始终为红灯。当有人需要通过公路时，在人行横道边按下请求通过按钮后,交通灯控制系统按照表 7.5 中的时序控制交通灯点亮。

附加控制要求为：

- (1) 在有人请求通过公路时，采用数字显示器对车道绿灯亮的时间，进行倒计时显示；
- (2) 用脉冲信号驱动蜂鸣器实现人行道放行时间的声音提示，实现导盲功能。

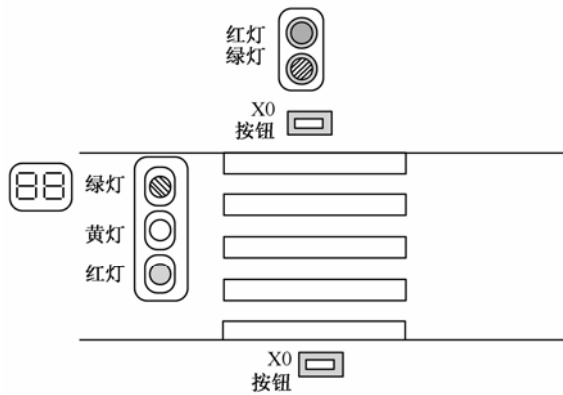


图 7.13 按钮式交通灯控制示意图

表 7.5 交通灯控制时序表

时序 道路	交通灯点亮的时间及顺序					
	无人请求	有人请求通过公路（X0=ON）				
车道	绿灯	绿灯 30s	黄灯 10s	红灯 5s	红灯 25s	
人行道	红灯	红灯 45s			绿灯 15s	绿灯闪 5s 红灯 5s

2. PLC的I/O接线设计

（1）I/O 地址分配。PLC 的输入端 X0 接入人行道请求通过按钮开关，Y10～Y16 和 Y20～Y26 输出端口控制 2 个七段式数字显示器件，Y0～Y4 端口用于控制交通灯，Y7 端口控制蜂鸣器。I/O 地址分配如表 7.6 所示。

（2）I/O 接线设计。采用单相 220V 电源为 PLC 供电，同时驱动 PLC 输出端的交通灯 HL。LED 数字显示器和 HA 蜂鸣器采用 24VDC 电源（用户电源）驱动。PLC 的 I/O 接线图如图 7.14 所示。

表 7.6 I/O 地址分配

输 入 地 址		输 出 地 址	
人行道按钮开关 SB	X0	车道红灯	Y0
		车道黄灯	Y1
		车道绿灯	Y2
		人行道红灯	Y3
		人行道绿灯	Y4
		蜂鸣器 HA	Y7
		车道绿灯计时显示	Y10～Y16
		车道绿灯计时显示	Y20～Y26

3. 控制程序设计

（1）功能图设计。根据控制要求确定功能图采用并行结构形式。按钮式交通灯的控制程序功能图如图 7.15 所示。功能图分析：PLC 上电后，由区间复位指令 ZRST 给程序中使用的



步状态器复位，并给 S0 步置位。S0 步控制车道绿灯亮，人行道红灯亮。如果人行道此时没有人请求通过，车道绿灯、人行道红灯的工作状态将一直持续下去，因为 X0 为 OFF 状态，所以程序不能转移到下一步执行。

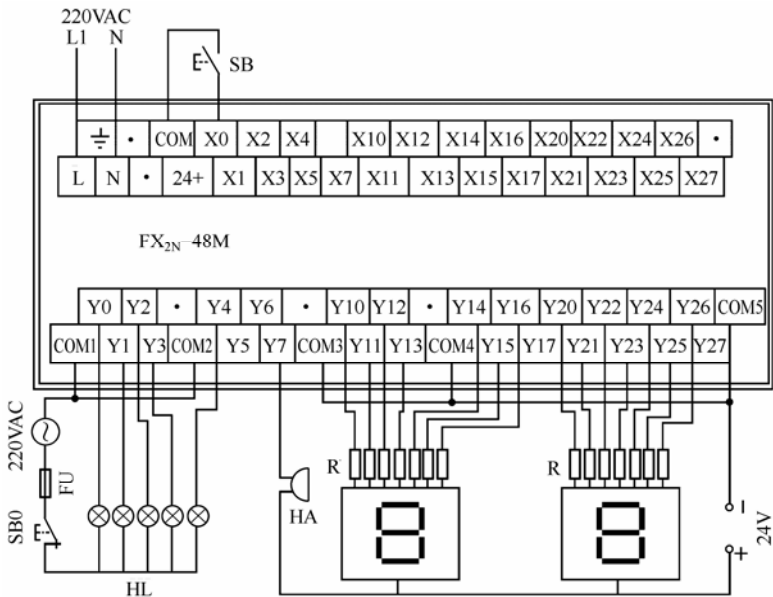


图 7.14 按钮式交通灯的 I/O 接线图

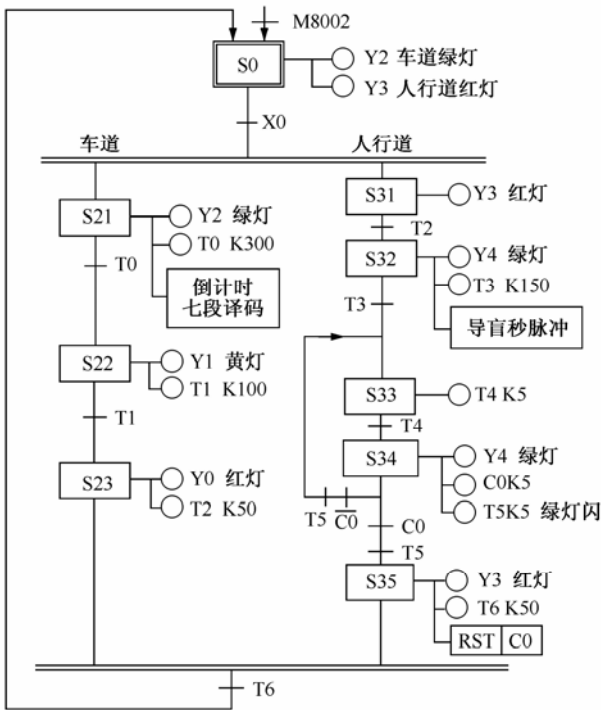


图 7.15 按钮式交通灯的控制程序功能图



当有人按下人行道请求通过按钮，X0 为 ON，程序转移到 S21 和 S31 步，车道仍旧绿灯亮，人行道红灯亮，车道继续放行并开始计时，当 30s 时间到，车道黄灯亮 10s 后，接着红灯亮 5s（此时车道和人行道都是红灯亮），5s 后人行道红灯熄灭，绿灯点亮，但车道仍保持红灯亮状态。人行道绿灯亮 15s 后，变为闪烁（闪烁 5 次时间为 5s），5s 结束后，人行道红灯亮 5s（车道仍旧为红灯）后，程序返回到初始步 S0，恢复为车道绿灯、人行道红灯的无人请求通过的初始状态，直至下次有人请求通过公路时，程序才能开始向下执行。

（2）梯形图设计。将图 7.15 所示的功能图采用步进指令转换成梯形图，如图 7.16 所示。

（3）附加控制要求的程序设计。

① 导盲蜂鸣器控制程序设计。为引导盲人安全通过人行道，采用秒脉冲驱动蜂鸣器发声提示。导盲秒脉冲程序如图 7.17（a）所示。当人行道的绿灯点亮时，程序执行到第 S32 步，定时器 T3 开始 15s 计时，采用 PLC 内部的特殊辅助继电器 M8013 的秒脉冲信号，经 Y7 端口驱动蜂鸣器发出嘀哒的声音。当 15s 时间到，程序转移到 S33 步，Y7 自动关闭。

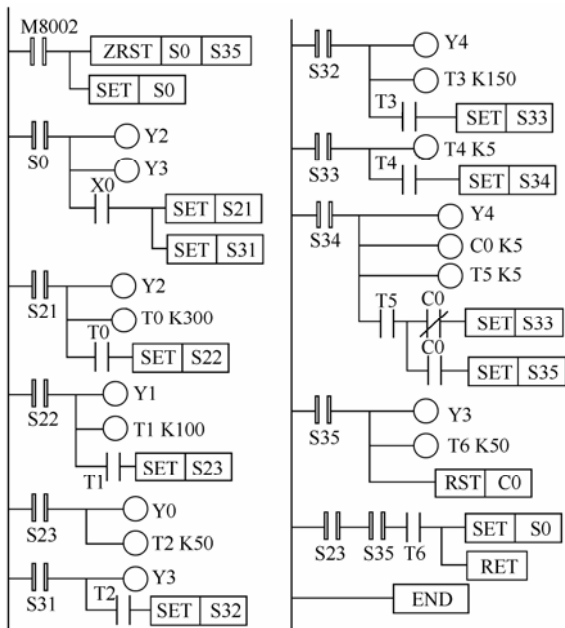


图 7.16 按钮式交通灯的控制程序梯形图

② 倒计时数字显示程序设计。车道绿灯亮 30s 的倒计时显示程序如图 7.17（b）所示。定时器 T0 的计时脉冲周期（时基信号）为 100ms，设定的延时时间常数为 300，要采用十进制数 300 减去 T0 的当前值，才能得到定时器的倒计时变化数据。由于七段译码指令 SEGD 只能对 BCD 码操作，所以要将倒计时数据转换成 BCD 码并送 K4M0 中。由于 T0 的时基信号为 0.1s，计时数据的最小值为 0.1s，而倒计时只需显示数据的十位和个位，所以只需要显示 K2M4 存储的数据，而小数点后面的数据（M3~M0）未被使用。

因为七段译码指令 SEGD 只能将[S.]中的低四位数据译为七段码信号，要显示倒计时的两位数据（最大 30s），所以要执行两次 SEGD 指令，将 K2M4 分为 K1M4 和 K1M8 两组数据译码并驱动显示器件。即将 K1M4 转换成七段码输出到 K2Y10，驱动倒计时的个位数（十



进制数) 显示器件, 再将 K1M8 转换成七段码输出到 K2Y20 端, 驱动倒计时的十位数的数字显示器件。由于本例中采用的是七段式显示器件, 所以输出端 Y17、Y27 未使用, 为空端。

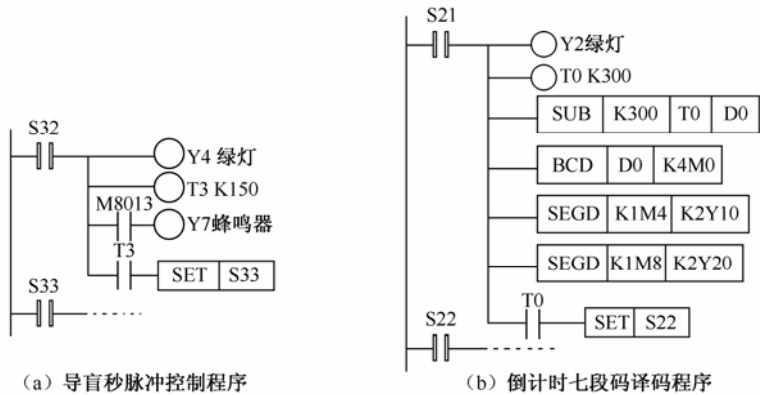


图 7.17 附加控制要求的程序梯形图

7.2.3 送料车的定点呼叫控制

1. 定点呼叫送料车的控制要求

图 7.18 所示为某生产流水线的送料车定点呼叫控制示意图。送料车根据要求对 1#~4# 的工位进行送料。每个工位上都设置有位置检测传感器 SQ, 用于检测送料车到位状况。每个工位都设置有呼叫按钮 SB, 用于呼叫送料车。送料车在生产线 1#~4# 工位的范围内左、右运动, 当某个工位的呼叫按钮闭合时, 送料车将自动运行到呼叫工位。采用 PLC 对送料车进行控制, 要求设置数字显示器, 用于显示送料车的当前位置及当前呼叫按钮的编号。要求采用功能指令设计控制程序。

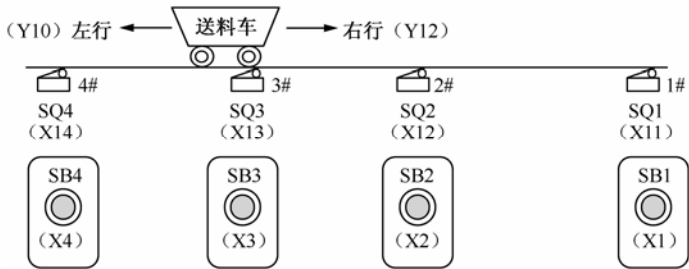


图 7.18 送料车定点呼叫控制示意图

2. PLC控制系统的硬件电路设计

(1) 主电路设计。送料车采用电动机驱动, 送料车定点呼叫的控制主电路如图 7.19 所示。通过交流接触器 KM1 和 KM2 控制电动机的正、反转, 实现送料车左行、右行。所以, KM1、KM2 为 PLC 的控制负载。

(2) 电气控制元件的选择。送料车采用 Y112M-4 型电动机驱动, 电动机的额定功率为

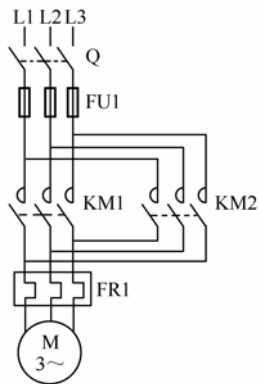


图 7.19 送料车定点呼叫的控制主电路

采用外部直流电源供电，呼叫按钮 SB 安置在各个工位上，数字显示，急停开关 SB0（不进入 PLC 的内部）都安装在控制面板上。数字显示器件采用用户电源供电。

表 7.7 I/O 地址分配

输 入 地 址		输 出 地 址	
呼叫按钮 SB1	X1	按钮呼叫号显示器	Y0~Y6
呼叫按钮 SB2	X2	送料车工位号显示器	Y20~Y26
呼叫按钮 SB3	X3	送料车左行 KM1	Y10
呼叫按钮 SB4	X4	送料车右行 KM2	Y12
热继电器 FR	X5		
位置检测开关 SQ1	X11		
位置检测开关 SQ2	X12		
位置检测开关 SQ3	X13		
位置检测开关 SQ4	X14		

3. PLC的控制程序设计

（1）控制程序设计说明。控制程序分为 4 个部分：开机清零程序；送料车运动方向的判断程序；左、右运动控制及数字显示控制程序。

① 送料车的运动方向判断。由送料车的控制示意图可知，送料车可能停止在生产流水线的任何一个工位上，而另外的 3 个工位都可以呼叫送料车，所以送料车的运动方向，由当前所在的工位和呼叫按钮号决定。假设送料车停在 2 号工位，若 4 号工位呼叫，则送料车就要左行，此时若出现 1 号工位呼叫，则送料车就要右行，首先要编程实现送料车运动方向的判断。由前面的分析可知，当呼叫按钮号大于送料车当前所在的工位号时，送料车要左行，相反，呼叫按钮号小于当前所处工位号时，送料车要右行。所以，采用比较指令编程就可以实现送料车运动方向的判断。

② 送料车左、右运动的控制。生产流水线共设置 4 个工位，当送料车停在 4#工位时，不会出现向左运动的要求。同理，送料车停在 1#工位时，也不会出现向右运动的要求。所以



可以确定左、右运动的要求各为 3 个，这些要求就是送料车左行和右行的起动条件，而每个工位的位置检测传感器信号（SQ）为运动的停止信号。可以采用主控指令和跳转指令选择执行左行、右行的控制程序。

③ 数字显示。采用七段译码指令 SEGD 将数据寄存器中的数据译为七段码信号，驱动 PLC 输出端的数字显示器件，就可以实现数字显示。

（2）控制程序分析。送料车定点呼叫程序如图 7.20 所示。首先采用区间复位指令 ZRST 给程序中使用的数据寄存器和辅助继电器复位。

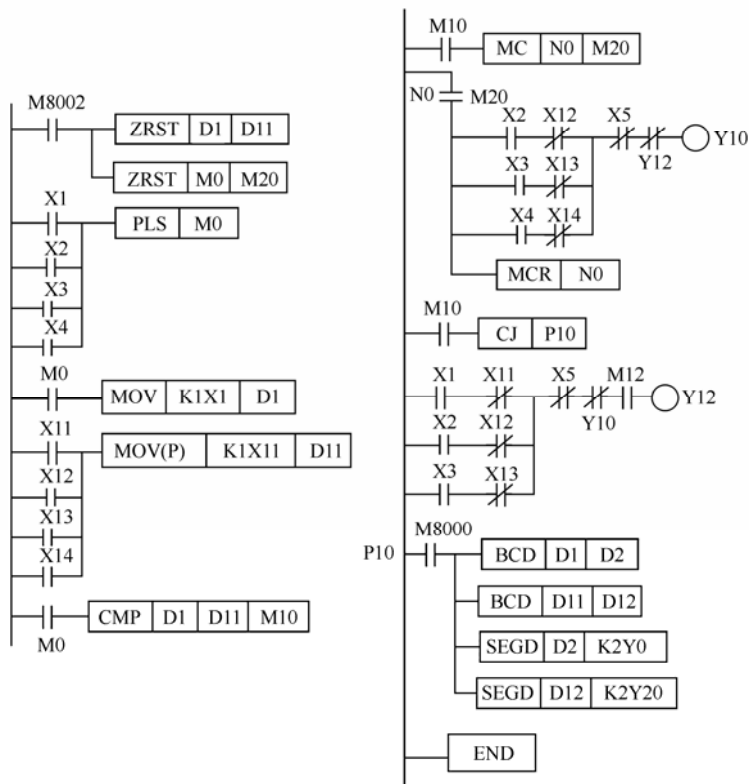


图 7.20 送料车定点呼叫控制程序

X1~X4 为各个工位的呼叫按钮开关，在任何一个呼叫开关闭合的上升沿，采用脉冲指令 PLS 得到一个扫描周期宽度的控制信号 M0。用 M0 信号控制执行 MOV 指令，将当前的呼叫信号送到数据寄存器 D1。同理，将送料车当前所处的位置号送到数据寄存器 D11 中。在 M0 为 ON 时执行比较指令，以确定送料车的运动方向。当 D1 中的内容（呼叫开关编号）大于 D11 中的内容（小车的当前工位号）时，M10 动合触点闭合，满足 N0 号主控指令的执行条件，实现执行左行程序。相反，当 D1 中的内容小于 D11 中的内容时，M12 的动合触点闭合，不满足主控指令和跳转指令的执行条件，M12 为 ON 执行右行程序。

在 PLC 运行期间，利用特殊辅助继电器 M8000 的动合触点一直为闭合状态，将送料车的呼叫按钮编号及当前位置编号用数字显示出来。



7.3 PLC在生产过程中的应用

7.3.1 PLC过程控制系统的组成

1. PLC闭环控制系统的概念

如图 7.21 所示为 PLC 模拟量闭环控制系统，图中虚线部分是用 PLC 实现的。由于生产过程中大多数的物理量都是模拟量，所以需要采用模拟量输入模块将来自变送器的标准模拟量 $p_v(t)$ （4~20mA 或 1~5V/DC）转换成数字量 $p_v(n)$ ，然后将其读入 PLC；同样需要采用模拟量的输出模块将 PLC 输出的数字量 $m_v(n)$ 转换成模拟量 $m_v(t)$ ，才能控制生产过程中的各种模拟量输入的执行器（电动调节阀和变频器等）。

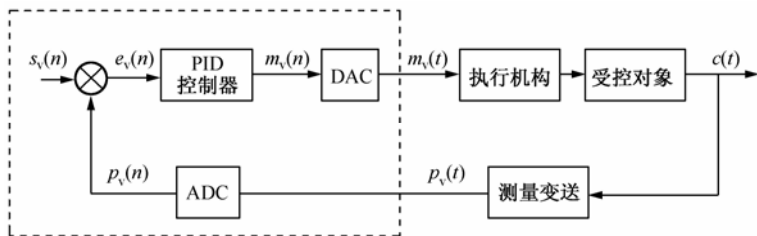


图 7.21 PLC 模拟量闭环控制系统

2. 变送器的选择

在生产过程中，变送器用于将传感器输出的电信号转变为 1~5V（0~10V）（DC）或 4~20mA（DC）的标准输出信号。电压输出型变送器具有恒压源的特性。PLC 模拟量输入模块的电压输入端具有高输入阻抗特点（如 100k Ω ~10M Ω ），在实际使用时，若控制现场距 PLC 较远，通过线路间的分布电容和分布电感感应的干扰信号，在模块输入阻抗上将产生较高的干扰电压，如 1 μ A 的干扰电流在 10M Ω 的输入阻抗上产生 10V 的干扰电压信号，所以远程传送模拟量电压信号时抗干扰能力较差。

电流输出型变送器具有恒流源的特性，恒流源的内阻很大。PLC 的模拟量输入模块输入电流时，输入阻抗较低（如 250 Ω ），线路上的干扰信号在模块输入阻抗上产生的干扰电压很低，所以模拟量电流信号适应远程传送。电流信号比电压信号的传送距离要远得多，实际使用时选用两线制变送器，接入模拟量输入模块的电流输入端，配套使用很方便。

3. 模拟量输入模块的选择

模拟量输入模块接收变送器提供的标准电流信号或标准电压信号，因此模拟量输入模块的选型与变送器有关，选择时要做以下综合考虑：

（1）模拟量输入模块的分辨率。模拟量输入模块的分辨率采用转换后的二进制数的位数表示，主要有 8 位和 12 位两种。8 位分辨率较低，一般用于要求不高的场合。

12 位二进制数对应的十进制数为 0~4 095。FX2N 系列模块的满量程模拟量一般对应于



数字 0~4 000, 如 FX2N-2AD 模拟量输入模块, 0~10V 输入对应于数字量 0~4 000 输出, 故其分辨率为

$$10\text{V}/4\,000\text{ 字}=2.5\text{ mV/字}$$

(2) 模拟量模块的转换速度。与微机测控装置中使用的 ADC、DAC 相比, PLC 的模拟量模块的转换速度都较低, 如模拟量输入模块 FX2N-2AD 的转换时间为 2.5ms/通道。

(3) 温度检测模拟量模块。用于温度控制的温度检测模拟量模块一般是温度变送器和模拟量输入模块的组合, 如 FX 与铂热电阻 (Pt100) 配合使用的 FX2N-4AD-PT 模拟量输入模块, 配热电偶使用的 FX2N-4AD-TC 模拟量输入模块。使用时可将传感器 (测温元件) 直接和模块相连, 不需再接温度变送器。

4. 模拟量输出模块的选择

模拟量输出模块将 12 位数字信号转换为模拟电压或电流输出。对于 FX2N-2DA 模块, 在出厂时, 调整为输入数字值 0~4 000 对应于输出电压 0~10V。实际使用时可采用 FX2N-2DA 上的调节电位器对增益值和偏移量重新进行调整, 也可以编程进行调整。

增益值可以设置为任意值, 为了充分利用 12 位的数字值, 建议将数字范围设定为 0~4 000, 如需要采用 4~20mA 电流输出时, 调节 20mA 模拟量对应的数字输入值为 4 000。电压输出时, 其偏移量为 0; 电流输出时, 4mA 模拟输出量对应的数字量为 0。

5. 实现PID控制的方法

采用 PLC 实现模拟量的闭环控制时, 可以采用以下方法:

(1) 使用 PID 控制模块。PID 控制模块有 ADC、DAC 和 PID 控制程序。PID 控制程序由 PLC 制造厂家设计并已存在于模块中, 用户使用时只需要设置一些参数即可, 使用非常方便。一块模块可以控制几路或几十路闭环控制回路, 一般在大中型控制系统中使用。

(2) 使用 PID 指令。FX2N 系列 PLC 的生产厂家提供给用户 PID 控制用指令, 相当于用于实现 PID 控制的子程序, 与模拟量输入/输出模块一起使用非常方便。

(3) 用自编程序实现 PID 控制。对于没有 PID 指令的 PLC 机型, 可以采用自编程序的方法实现 PID 控制功能, 对于已有 PID 控制指令的 PLC, 在使用时也可以自行编程改进 PID 控制算法。

(4) 变频器的闭环控制。变频器一般都有一个 PI 控制器和一个 PID 控制器。对于恒压供水这一类闭环控制系统, 可以将反馈信号接到变频器的反馈信号输入端, 用变频器内部的控制器实现闭环控制。如果用 PLC 实现 PID 闭环控制, 需将反馈信号送给 PLC 的模拟量输入模块, 用 DAC 输出的信号作为变频器的频率给定信号, 则需要增设 PLC 的模拟量输入模块和模拟量输出模块。

7.3.2 PLC的过程控制算法

1. 模拟量输入模块输出值的标度变换

采用模拟量输入模块时要考虑经 ADC 后输出值与被测物理量的对应关系, 即标度变换问题。



图 7.22 所示为 FX2N-2AD 模拟量输入模块的 A/D 转换的关系, 对于 0~10V 直流模拟电压输入, 转换为数字量的范围是 0~4 000, 当输入 0~5V 的电压信号时, 需要进行偏移值和增益值调整, 可直接通过调整模块上的电位器完成, 也可通过编程实现。当输入为压力变送器时, 则要找出被测物理量压力与 A/D 转换后数据之间的比例关系。

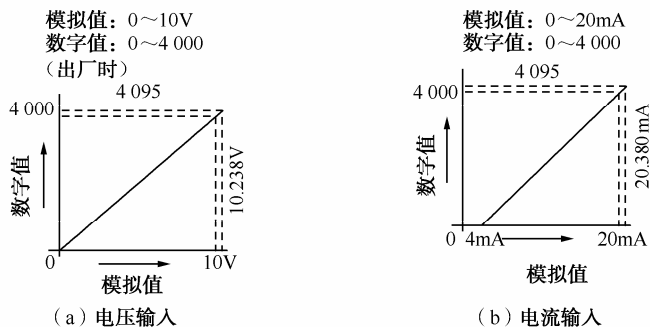


图 7.22 模拟量输入模块的 A/D 转换关系

例 设所采用的压力变送器的压力测量范围为 0~10MPa, 对应输出信号为 4~20mADC, 若选择 FX2N-2AD 模块, 给模块输入 4~20mA 信号, 模块转换后输出的数字量为 0~4 000, 设转换后得到的数字为 N, 试计算以 kPa 为单位的输出压力值。

解: 0~10 MPa (0~10 000kPa) 对应于转换后的数字 0~4 000, 转换公式为

$$P=(10\,000\times N/4\,000)\text{kPa}=(2.5\,N)\text{kPa}$$

表示模块输出每个字 (数字量) 代表 2.5kPa 的压力值。

用定点数运算的计算公式为

$$P=(N\times 5/2)\text{kPa}$$

按照上面的公式, 采用算术运算指令编程, 即可实现标度变换。注意运算时要先乘后除, 否则可能会损失原始数据的精度。

2. 非线性处理

图 7.23 表示某传感器的输出特性曲线, 图中还表示了用折线逼近实际特性曲线的线性化的方法, x 表示测量数据, y 表示线性化后的输出。折线线性化的方法为: 将特性曲线分为 3 个区间, 用 3 段直线来逼近该传感器的非线性曲线。为减小线性化的误差, 采用不等距的分段法, k_1 、 k_2 、 k_3 分别为 3 段折线的斜率值。由此可以写出各段的线性差值公式:

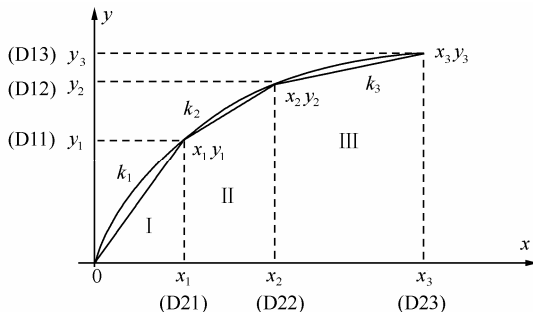


图 7.23 某传感器的特性曲线



当 $0 \leq x_b < x_1$ 时, $y=k_1x_b$;
当 $x_1 \leq x_b < x_2$ 时, $y=y_1+k_2(x_b-x_1)$;
当 $x_2 \leq x_b < x_3$ 时, $y=y_2+k_3(x_b-x_2)$;
当 $x_b \geq x_3$ 时, $y=y_3$ 。
上式中, $k_1=y_1/x_1$; $k_2=(y_2-y_1)/(x_2-x_1)$; $k_3=(y_3-y_2)/(x_3-x_2)$; x_b 为实际的被测值。
图 7.24 所示为根据折线线性化方法设计出的程序流程图。实现折线线性化的程序设计步骤如下:

- (1) 首先采用 PLC 的模拟量输入模块, 将来自传感器的被测值 x_b 读入到 PLC 基本单元的数据寄存器 D0 中, 并将线性化的有关参数输入到数据寄存器, 如图 7.25 所示。折线斜率 k_1 、 k_2 、 k_3 被存入到 D1、D2、D3; 拐点对应值 y_1 、 y_2 、 y_3 被存入到 D11、D12、D13 中; x_1 、 x_2 、 x_3 点的对应值被存入到 D21、D22、D23 中; 确定线性化后输出的数据存入 D30 中。
- (2) 确定被测量 x_b 所在的区间。在图 7.26 所示的梯形图中, 用比较指令确定被测量值所在的区间。

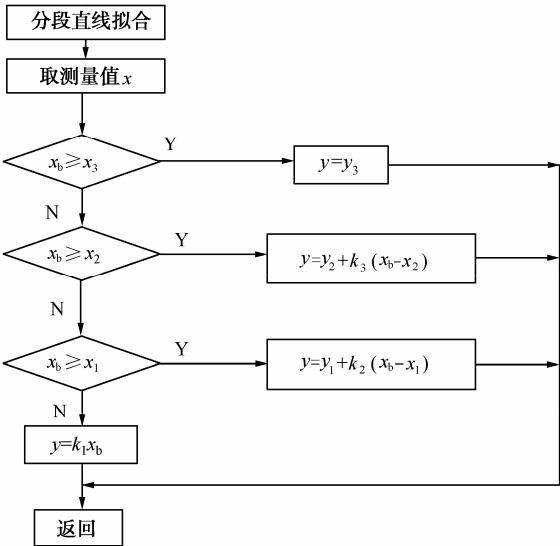


图 7.24 折线线性化的程序流程图

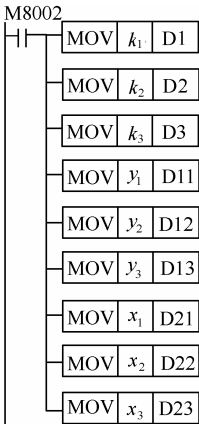


图 7.25 读入数据

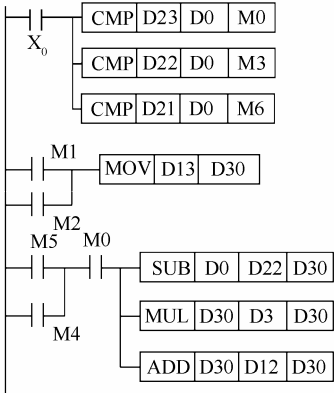


图 7.26 算术运算



(3) 算术运算。在确定了被测值 x_b 所在的区间后，进行算术运算，如图 7.26 所示。假设被测值 $x_b \geq x_3$ 时， $M1=M2=ON$ ，将 D13 中的数据送入 D30，等于输出数据。假设 $x_2 \leq x_b < x_3$ ，由比较指令给出结果 $M0=ON$ 、 $M4=ON$ 、 $M5=ON$ ，控制进行减 x_2 值（D22 中数值）、乘系数 k_3 （D3 中数值）以及加 y_2 （D12 中数值）的运算，线性化后的结果存入 D30 中。

若被测值在其他的区间内，其控制程序和上述相同，这里不再赘述。

3. PID控制指令

(1) PID 指令的操作功能。图 7.27 所示为 PID 指令的示例梯形图。PID 指令用于模拟量的闭环控制，PID 运算所需的参数存放在指定的数据区内。指令中[S1]用于存放置位值；[S2]存放当前值（测量值）；[S3]是用户为 PID 指令定义参数表的首位地址，该参数表需要占用 25 个寄存器，此例中占用 D100~D124；[D]用于存放 PID 运算的结果。

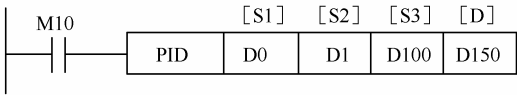


图 7.27 PID 指令的示例梯形图

[S3]~[S3]+6 用来存放控制参数的数据，FX 系列 PLC 的 PID 指令使用位置式输出的增量式 PID 算法。

达到采样时间的 PID 指令在其后扫描周期中进行 PID 运算。图中，M10 为该指令的执行条件，当 M10=ON 时，置位值存入 D0，当前值从 D1 中读出；D100~D124 为用户定义参数寄存器；运算结果的输出值存入 D150。

PID 指令在使用时应注意以下几点：

- ① 一个程序中可以使用多条 PID 指令，但每条指令的数据寄存器应是独立的。
- ② PID 参数的出错信息放在 D8067 中。
- ③ PID 指令可以使用中断、子程序、条件跳转和步进指令，但使用时要注意其采样时间必须大于程序的扫描时间。
- ④ 为了提高采样的速率，可以把 PID 指令放在定时中断的程序中。
- ⑤ PID 指令要采用停电保护型数据寄存器，在 PLC 停电后，无须再重新写入参数。

(2) PID 指令的参数表。PID 指令的参数表占用[S3]指定的首元件开始的连续 25 个数据寄存器。PID 数据堆栈中的内容中一部分必须由用户在 PID 运算前用指令写入（如控制用参数的设定值，在 PID 运算前必须预先通过 MOV 等指令写入），一部分留做内部运算用，还有一部分是存放运算结果的。PID 数据堆栈中的内容及功能如表 7.8 所示，表中[S3]+n 表示指令的源地址，例如，若[S3]选择用数据寄存器 D10，则[S3]+4 就表示 D14。

表 7.8 PID 指令的参数表

源地址 [S]+n	参数及功能	设定范围及说明		备注
[S3]+0	采用周期 T_s	1~32767ms（读当前值的时间间隔）		不能小于扫描时间
[S3]+1	动作方向(ACT)	b0	0：正作用，1：反作用	b3~b15 不用
		b1	输入变化报警 0：无效，1：有效	
		b2	输出变化报警 0：无效，1：有效	



续表

源地址 [S]+n	参数及功能	设定范围及说明	备注
[S3]+2	输入滤波常数	0~99 (%)	为 0 时无输入滤波
[S3]+3	比例增益 KP	1~32767 (%)	
[S3]+4	积分时间 TI	0~32767 (*100ms)	为 0 时做处理（无积分）
[S3]+5	微分增益 KD	0~100 (%)	为 0 时无微分增益
[S3]+6	微分时间 TD	3~32767 (10ms)	为 0 时无微分处理
[S3]+20	当前值上限报警设定值	0~32767（用户设定，超限时[S3]+24 的 b0 为 1）	[S3]+1 的 b1=1 时有效
[S3]+21	当前值下限报警设定值	0~32767（用户设定，超限时[S3]+24 的 b0 为 1）	
[S3]+22	输出增量报警设定值	0~32767（用户设定，超限时[S3]+24 的 b0 为 1）	[S3]+1 的 b2=1 时有效

4. PID控制参数的整定方法

为了使 PID 控制系统得到好的控制效果，要对 PID 控制参数进行整定，获得适合于控制对象的 PID 参数的最佳值，即最佳的 K_P 、 T_I 、 T_D 值。通常 PID 控制参数的确定方法如下。

（1）阶跃响应曲线法。给系统的控制对象加上阶跃输入信号，测出其响应曲线，并根据此曲线计算 K_P 、 T_I 和 T_D 的方法。

阶跃响应曲线法是采用给控制对象加上阶跃输入信号，测出输出响应的信号，再根据输出响应曲线计算 K_P 、 T_I 、 T_D 值的。图 7.28 所示为对象的输入/输出信号，表 7.9 所示为根据阶跃响应曲线求参数的计算方法。

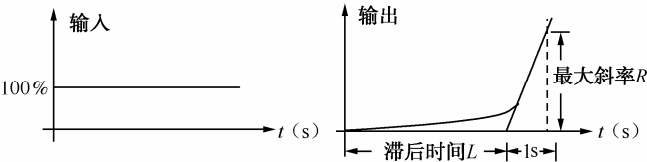


图 7.28 对象的输入/输出信号

表 7.9 根据阶跃响应曲线求参数

PID 参数 控制作用	比例增益 K_P (%)	积分时间 T_I ($\times 100\text{ms}$)	微分时间 T_D ($\times 100\text{ms}$)
比例作用	$(1/RL) \times \text{输出值 (mV)}$	—	—
比例积分作用	$(0.9/RL) \times \text{输出值 (mV)}$	$33L$	—
比例积分微分作用	$(1.2/RL) \times \text{输出值 (mV)}$	$20L$	$50L$

（2）参数自整定功能（仅适用于 FX2N V2.00 以上版本的 PLC）。参数自整定功能根据阶跃响应曲线法，自动设定 PID 的 3 个重要参数。其作用方向为[S3]+1 的 bit0，比例增益为[S3]+3，积分时间为[S3]+4，微分时间为[S3]+6，以得到最佳的 PID 控制效果。

参数自整定方法如下：

① 传送自整定用输出值至输出值数据寄存器[D]中，该输出值应在输出设备最大可能输



出值的 50%~100%范围内。

② 预先设定不能被自整定的参数（如采样时间、输入滤波常数、微分增益等）及目标值等，应注意以下事项。

a. 目标值的设定。自整定开始时，测量值和目标值的差（偏差）必须大于 150，若小于 150，则先设定自整定用目标值，待自整定完成后，再设定目标值。

b. 采样时间。自整定时采样时间必须在 1s 以上，一般采样时间应远远大于扫描周期。

c. [S3]+1 (ACT) 的 bit4 设为 ON 后，自整定开始。当测量值达到目标值的 1/3 时，自整定结束，[S3]+1 (ACT) 的 bit4 自动变为 OFF。

需要注意，自整定应在系统处于稳定状态时进行，否则会产生不正确的结果。PID 参数自整定程序设计可参考图 7.32 所示炉温自动调节的 PLC 控制梯形图。

7.3.3 PLC在温度控制系统中的应用

图 7.29 所示为温度控制系统示意图。图中控温对象为电炉，热电偶为温度检测元件，采用 FX2N 型 PLC 实现 PID 温度控制，要求电炉温度控制在 50℃。控温系统采用模拟量输入模块 FX2N-4AD-TC 接入热电偶的检测信号。

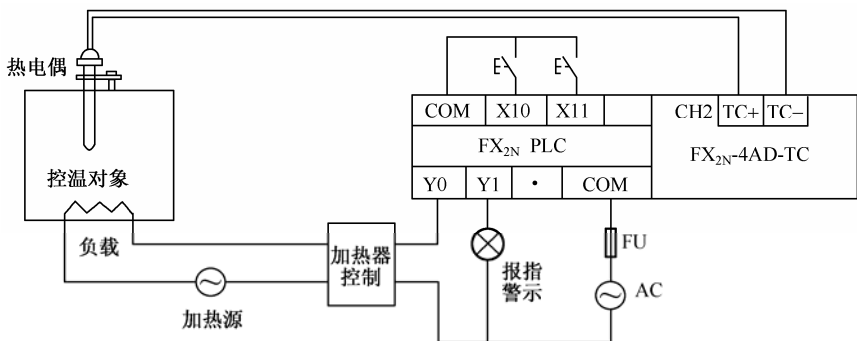
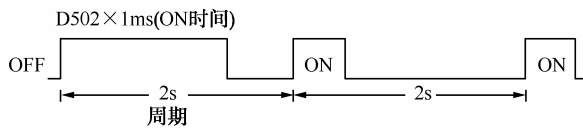


图 7.29 温度控制系统示意图

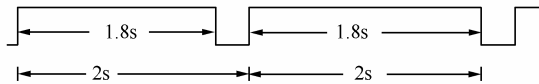
模拟量模块 FX2N-4AD-TC 仅靠 PLC 基本单元安装，其编号为 0，模块 FX2N-4AD-TC 的缓冲寄存器 BFM#0 中设定值为 H3303，表示设置 1~4 通道的设定，通道 2 设定为输入 K 型热电偶信号，其他通道设置为 3，即通道关闭。通道 2 将热电偶输出的信号接入模拟量模块进行采样及 A/D 转换后，输出到 PLC 的基本单元进行程序处理。图 7.30 所示为电炉加热的动作时序说明，D502 的设定内容为自动调节的输出值设定（1.8s 为 ON）。

图 7.31 所示为炉温控制参数设定梯形图，其 PID 的参数设定如表 7.10 所示。程序的设定内容为：模拟量模块的参数设置、PID 调节的参数设定、PID 控制作用的输出、方向及出错报警输出等。

在图 7.31 所示的参数设定梯形图中，设定控制温度为 50℃，即目标值为 500（即被控温度要保持在 $500 \times 0.1^\circ\text{C}/\text{单位变化量} = +50^\circ\text{C}$ ）；输入输出变化量报警有效；输出上下限设定；自动整定+PID 控制，则 (S3)+1 动作方向 (ACT) 的 bit0=0（对于 0℃的正向动作），bit1~bit5 均为 1，即动作方向 (ACT) 单元的设定参数为 (0~011110) BIN=K30。



(a) PID控制时



(b) 自整定输出等于最大输出的90%时

图 7.30 电炉加热的动作时序说明

表 7.10 参数设定表

	参数设定	元件号		自整定中	PID 控制中
目标值	温度值 (℃)	[S1]	D500	(500+50)℃	(500+50)℃
参数	采样时间 (T_s)	[S3]	D510	3 000ms	500ms
	输入滤波 (α)	[S3]+2	D512	70%	70%
	微分增益 (K_D)	[S3]+5	D515	0	0
	输出值上限	[S3]+22	D522	2 000 (2s)	2 000
	输出值下限	[S3]+23	D523	0	0
动作方向 (ACT)	输入量报警	[S3]+1	D511	bit1=1 无	bit1=1 无
	输出量报警	[S3]+1	D511	bit1=1 无	bit1=1 无
	输出值上下设定	[S3]+1	D511	bit5=1 有	bit5=1 有
输出值		[D]	Y1	1800ms	根据运算

图 7.32 所示为 PID 控制梯形图，当 X10=ON、X11=OFF 时先执行自动整定（PID 参数的整定），然后再执行 PID 控制（实际为 PI 作用）；若 X10=OFF、X11=ON 时，仅执行 PID 控制。梯形图每一步的操作功能如图中注释所述。

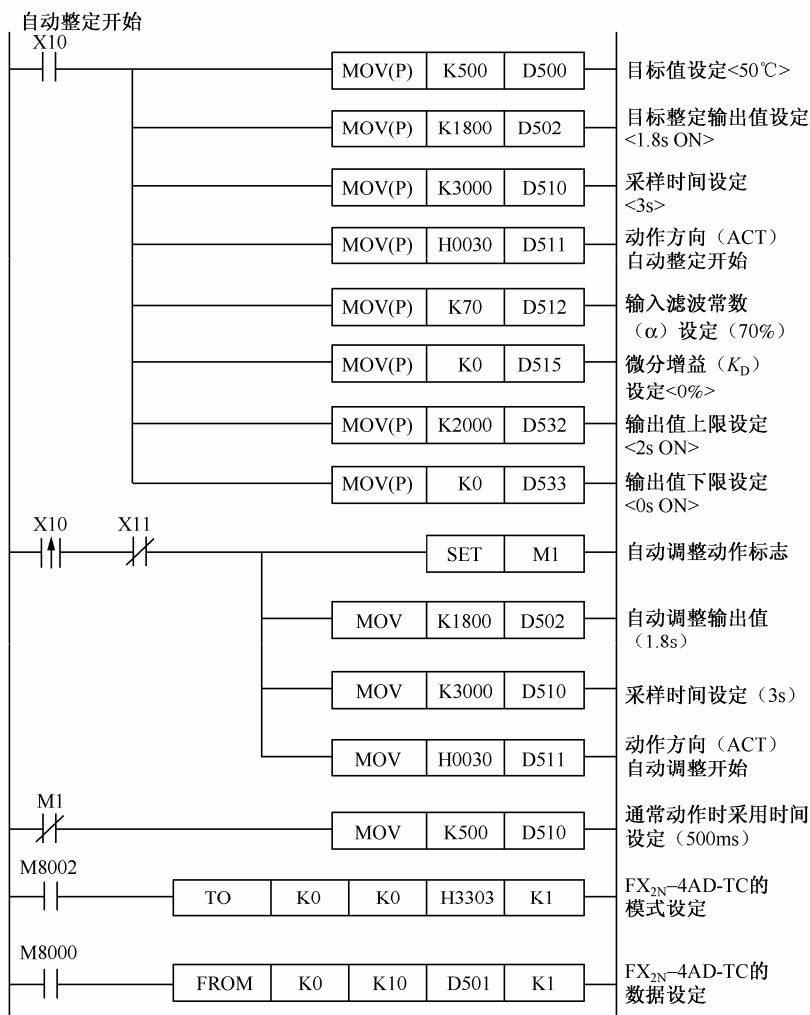


图 7.31 参数设定梯形图

习题 7

7.1 用经验法设计满足图 7.33 所示波形图的梯形图。

7.2 某一油循环系统如图 7.34 所示。其控制要求为：

(1) 当按下起动按钮 SB1 时，泵 1 和泵 2 通电运行，由泵 1 将油从循环槽打入到淬火槽，经过沉淀，再由泵 2 打入循环槽，运行 15s 后，泵 1、泵 2 停止工作。

(2) 在泵 1、泵 2 运行期间，当沉淀槽液位升高到高液位时，液位传感器 SL1 接通，此时泵 1 停止，泵 2 继续运行 1s。

(3) 在泵 1、泵 2 运行期间，当沉淀槽液位降低到低液位时，液位传感器 SL2 接通，此时泵 2 停止，泵 1 继续运行 1s。

(4) 停止按钮 SB2 按下时，泵 1、泵 2 停止。

用 PLC 实现油循环系统的控制，要求设计功能图、梯形图和指令语句。

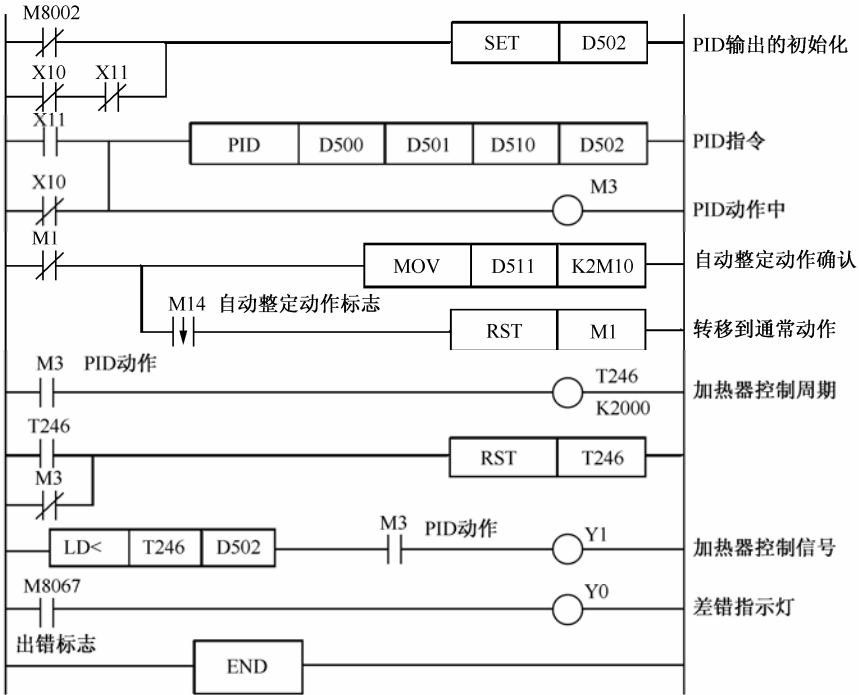


图 7.32 PID 控制梯形图

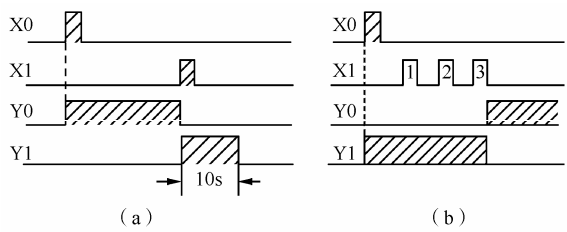


图 7.33 题 7.1 图

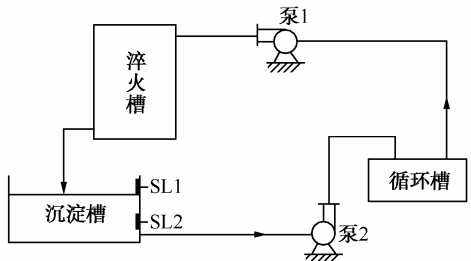


图 7.34 油循环系统示意图

编程器与编程软件的功能及使用

本章要点

1. FX-20P-E 型手持式编程器的使用方法。
2. 计算机编程软件的使用方法。

三菱 FX 系列 PLC 的编程工具有：FX-20P-E 型手持编程器，GP-80FX-E 图形编程器，用于计算机编程的 FXGPWIN 及 GX Developer 编程软件等。本章主要介绍 FX-20P-E 型编程器和 FXGPWIN 及 GX Developer 编程软件的使用方法。

8.1 FX-20P-E型编程器的使用

8.1.1 FX-20P-E型编程器简介

1. FX-20P-E型手持式编程器的组成

FX-20P-E 手持式编程器（简称 HPP）由液晶显示屏、ROM 写入器接口、存储器卡盒接口及按键组成，如图 8.1 所示。

FX-20P-E 手持式编程器配有专用电缆 FX-20P-E-CAB 与 PLC 主机相连。系统存储卡盒用于存放系统软件，其他的配件为选用件（如 ROM 写入器、存储器卡盒等）。FX-20P-E 手持式编程器的液晶显示屏能同时显示 4 行内容，每行有 16 个字符。编程器的键盘由 35 个按键组成，包括功能键、指令键、元件符号键、数字键等。手持编程器的显示内容说明如图 8.2 所示。

2. 编程器按键的功能

HPP 的各个按键的操作功能如表 8.1 所示。

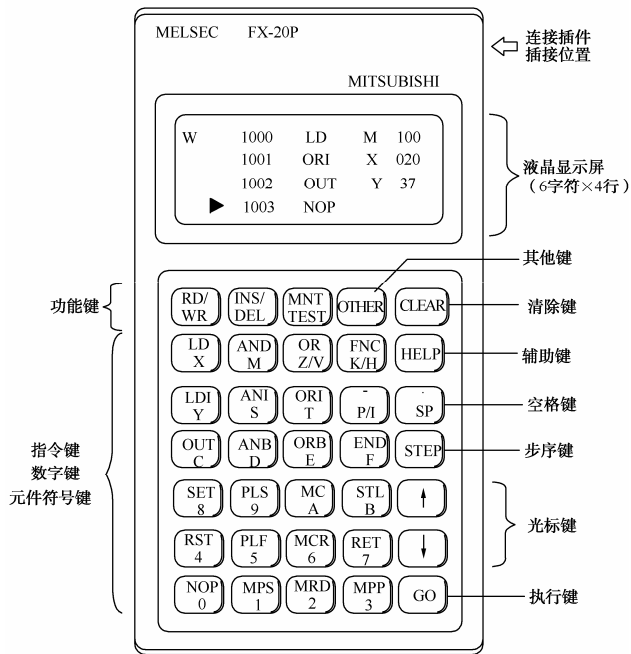


图 8.1 FX-20P-E 手持式编程器的操作面板

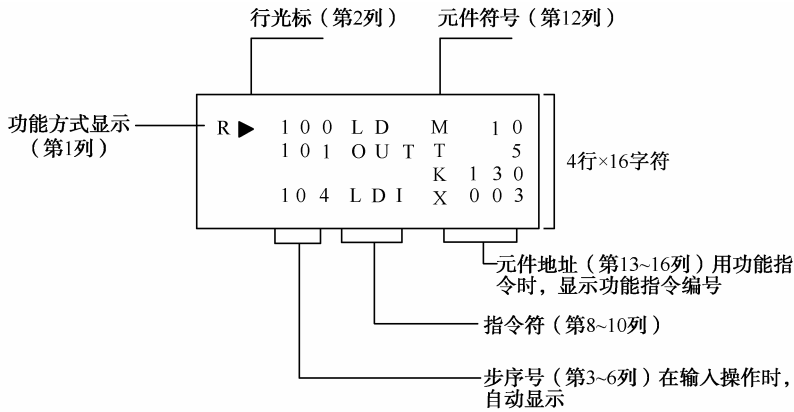


图 8.2 液晶显示屏

表 8.1 HPP 各按键的功能

键符号	键名称	功 能 说 明
RD/WR	读/写	这 3 个键为复用键，交替起作用，按第一次是选择左上方表示的功能，按第二次则表示选择右下方表示的功能
INS/DEL	插入/删除	
MNT/TEST	监控/监测	
OTHER	其他	无论在使用何种操作，按此键进入各种方式的选择
CLEAR	消除	在按下 GO 键之前，按下此键，可以消除错误信息，返回到上一个屏幕，该键也可用于清除显示屏上的错误信息



续表

键符号	键名称	功 能 说 明
HELP	帮助	显示应用指令菜单，在监控功能下，显示十进制与十六进制之间的转换
SP	空格	连续写入元件号或常数时用它
STEP	步长	设置程序的步序号
↑ ↓	上、下 移动	移动光标和提示符或快速滚动屏幕（选定已用过或未用过的步序号的元件，做上下滚动）
GO	执行	确认或执行指令，或连续搜索屏幕信息
LD AND X M NOP MPS 0 1	指令 符号 数字	这组键均为复用键，有两种功能，键上部为指令键，下部为数字键或器件符号键，何种功能有效，由当前操作状态下功能自动定义

3. FX-20P-E型编程器的工作方式选择

（1）PLC 通电后，POWER 灯亮；将 PLC 的工作方式选择开关置于 STOP 状态，此时，PLC 处于编程状态。

（2）编程器与主机同时通电，此时显示器显示内容为：

```
PROGRAM MODE
      ▶ON   LINE (PC)
      OFF  LINE (HPP)
```

其中，ON LINE 表示联机，OFF LINE 表示脱机，▶为光标。通过操作上下移动键（↑、↓）将光标移动到要选择的方式上，然后按 GO 键，就进入到所选定的编程方式。

光标在 ON LINE 前，按下执行键，为联机编程方式，执行对 PLC 内部的用户程序存储器的读/写操作。

光标在 OFF LINE 前，按下执行键，选择脱机编程方式，编程时将指令先写入编程器的 RAM 中，以后再转入 PLC 主机的用户程序存储器里。

（3）在联机编程方式下，有以下 7 种工作方式可供选择。

- ① OFF LINE MODE（脱机方式）：进入脱机编程方式。
- ② PROGRAM CHECK：程序检查，若无错误，显示 NO ERROR；有错误显示出错误的步序号及出错代码。
- ③ DATA TRANSFER：数据传送，若 PLC 内安装有存储器卡盒，在 PLC 的 RAM 和外装的存储器之间进行程序和参数的传送，相反则显示 NO MEM CASSETTE，不进行传送。
- ④ PARAMETER：对 PLC 的用户程序存储器容量、各种具有断电保持功能的编程元件的范围以及文件寄存器的数量进行设置。
- ⑤ XYM.NO.CONV.：对用户程序中的 X、Y、M 的元件号进行修改。
- ⑥ BUZZER LEVEL：对编程器的蜂鸣器音量进行调节。
- ⑦ LATCH CLEAR：对断电保持功能的编程元件进行复位。



8.1.2 FX-20P-E型编程器的操作使用

1. 写指令操作W

按下功能键 RD/WR，编程器显示屏上显示出 W，在进行写指令操作之前，可以将用户存储器中原先的内容清除掉。使显示屏上的指令都变成 NOP。按键的操作顺序为

→[NOP]→[A]→[GO]→[GO]

此操作进行之后显示器上全部显示为 NOP。也可以在存储器的指令语句上直接写入，即将原来的指令语句覆盖。写指令操作分为下面 3 种情况。

(1) 写入基本指令。基本指令的写入有以下 3 种情况。

① 写入仅有指令助记符的指令。例如要写指令 ORB，按键的操作顺序为

→[ORB]→[GO]

② 写入有指令助记符和一个元件的指令。例如写入指令 LD X0，按键的操作顺序为

→[LD]→[X]→[0]→[GO]

③ 写入指令助记符及一个元件带常数的指令。例如要写入定时器 T0 定时 10s 的指令，按键的操作顺序为

→[OUT]→[T]→[0]→[SP]→[K]→[100]→[GO]

写入定时器 T0 定时 D0 秒指令的按键操作顺序为

→[OUT]→[T]→[0]→[SP]→[D]→[0]→[GO]

(2) 写入功能指令。写入功能指令时，先按功能指令键 FNC，再输入功能指令代码及 SP 键，再输入元件或常数，最后按 GO 键结束。例如要写入图 8.3 所示的 16 位功能指令，其按键的操作顺序分别为

→[FNC]→[12]→[SP]→[K]→[5]→[SP]→[D]→[1]→[GO]
→[FNC]→[12]→[P]→[SP]→[K]→[0]→[SP]→[K]→[4]→[Y]→[0]→[GO]



图 8.3 写入 16 位功能指令

又如，要写入图 8.4 所示的 32 位功能指令，其按键的操作顺序分别为

→[FNC]→[D]→[12]→[SP]→[K5]→[SP]→[D1]→[GO]
→[FNC]→[D]→[12]→[P]→[SP]→[K0]→[SP]→[K4]→[Y0]→[GO]



图 8.4 写入 32 位功能指令

(3) 写入指针指令。写入指针 P、I 和写入指令的方法相同，即按 P 或 I 键后，再输入标号，最后按 GO 键确认。例如要写入图 8.5 中指针 P0。按键的操作顺序为

[P]→[0]→[GO]



图 8.5 指针 P0

(4) 指令的改写操作。在指定的步序上改写指令时，首先将光标移到改写的指令处，然后将正确的指令写入，按 GO 键确认。

(5) 移动光标。在写状态下移动光标到指定的程序步。例如要将光标从目前位置移动到程序步 100，按键的操作顺序为

→[STEP]→[100]→[GO]

2. 读指令操作R

按功能键 RD/WR，使编程器显示屏上出现 R，此时可进行读指令操作，读指令的操作分为以下 3 种情况。

(1) 由步序号读出指令。直接由步序号读出写入的指令语句。例如要读出步序号为 50 的指令语句，其按键的操作顺序为

→[RD]→[STEP]→[5]→[0]→[GO]

按上、下移动键可显示该指令之前或之后的其他指令。

(2) 由指令语句读出指令。在已写入的程序中读出某条指令语句。例如在已写入的程序中读出指令 OUT T0，按键的操作顺序为

→[OUT]→[T0]→[GO]

当找到 OUT T0 指令时，光标停留在指令 OUT T0 前面，再按 GO 键，PLC 从目前位置继续向下寻找 OUT T0 指令。如果程序中还有 OUT T0 指令出现，则光标停留在 OUT T0 指令出现的第二个位置前面；如果没有，显示屏上则显示 NOT FOUND，表示程序中 OUT T0 指令再没有第二次出现。按 CLEAR 键，可以清除 NOT FOUND 显示。

(3) 由元件号读出指令。在程序中寻找一个元件的操作，无论该元件以何种指令形式出现在程序中，都可在读指令的功能下进行检索。例如要在一个程序中寻找定时器 T10，按键的操作顺序为

→[SP]→[T10]→[GO]

当找到 T10 元件时，光标停留在元件 T10 前面，再按 GO 键，PLC 从当前位置继续向下寻找元件 T10。如果程序中还有 T10 元件出现，则光标停留在第二个 T10 元件前面；如果再无此元件了，显示屏上显示 NOT FOUND，表示程序中 T10 元件再没有出现第二次。按 CLEAR 键，可以清除 NOT FOUND 显示。

3. 插入指令操作I

按功能键 INS/DEL，出现标识符 I 后，可进行插入指令操作。

插入指令的操作：在显示屏上出现 I 标识符后，再移动光标（▶），将光标对准要插入指令位置的下一条指令，然后写入所要插入的指令，按 GO 键实现该指令的插入，插入 1 条指令后，程序的步序号会自动加 1。



4. 删除指令操作D

按功能键 INS/DEL，使编程器显示屏上出现删除标识符 D，此时可进行删除指令操作。删除指令有两种操作方式。

(1) 逐条删除指令。在显示标识符 D 的状态下，移动光标 (▶) 对准要删除的指令，然后按 GO 键即可删除该条指令。如果一直不停地按 GO 键，将逐条删除下一条指令。

(2) 删除部分指令。在显示标识符 D 的状态下，删除部分指令的操作顺序为

[STEP]→[起始步序号]→[SP]→[STEP]→[终止步序号]→[GO]

例如要删除程序步号 10 到程序步号 120 之间的指令，按键的操作顺序为

→[STEP]→[10]→[SP]→[STEP]→[120]→[GO]

5. 监视操作M

监视标识符为 M，编程器和 PLC 在联机的方式进行监视操作。监视功能是利用编程器的显示屏监视用户程序中元件的 ON/OFF 状态，以及 T、C 元件当前值的变化。

(1) 位元件的监视。位元件的监视是指监视指定位元件的 ON/OFF 状态。元件监视的操作：按 MNT/TEST 键，使编程器显示屏上出现监视功能标识符 M，再按 SP 键，输入要监视的元件符号及元件号，再按 GO 键即可。例如要监视元件 Y0~Y7 的 ON/OFF 状态，按键操作顺序为

→[M]→[SP]→[Y0]→[GO]

显示屏出现 Y0，按向下 (↓) 的光标键，显示屏依次出现 Y1~Y7 的状态显示，如果某元件前面出现 ■ 标记，表示该元件处于 ON 状态；如果元件前面没有出现 ■ 标记，表示该元件处于 OFF 状态。

(2) 对基本指令运行状态的监视。如需要对某条基本指令的运行状态进行监视，则先按照指令读出的方法，将其读出在显示屏上，并移动光标 (▶) 指向该条指令，再按功能键“MNT/TEST”，编程器显示屏上出现监视操作符号 M 后，根据该指令中元件的左边有无“■”标记，判断指令中的触点和线圈的状态。例如，监视第 126 条指令，按键的操作顺序为

→[M]→[STEP]→[1]→[2]→[6]→[GO]

显示屏的显示内容如下所示：

M	126	LD	X000
▶	127	ORI	■ M100
	128	OUT	■ Y005
	129	OUT	Y006

由显示屏的显示内容可知，M100 触点为 ON 状态，Y5 线圈为得电状态。

(3) 监控数据寄存器 D、V、Z 中的数据。如需要监视数据寄存器中的数据，首先要按 MNT/TEST 键，使编程器显示屏上出现监视操作的标识符 M 后，再输入数据寄存器的元件号。例如要监视数据寄存器 D10 中的数据，其按键的操作顺序为

→[M]→[SP]→[D]→[1]→[0]→[GO]

此时显示屏上显示出数据寄存器 D10 中的数据，若按下移动键 ↓，依次可以显示 D10、D11、D12 中的数据。此时显示的数据为十进制数表示，按 HELP 键，显示的数据在十进制



数和十六进制数之间切换。

(4) 定时器和计数器的监视。如需要监视计数器的运行情况，首先要按 MNT/TEST 键，编程器显示屏上出现监视操作的标识符 M 后，再输入计数器的元件号。例如要监视计数器 C10 的运行情况，其按键的操作顺序为

→[M]→[SP]→[C]→[1]→[0]→[GO]

显示屏的显示内容为：

M	T 100	K 100
	P R	K 20
▶	C 10	K 9
	P R	K 100

图中光标 ▶ 停在 C10 的位置，K9 是 C10 的当前计数值。在下一行中 K100 为 C10 计数器的设定值，P 表示 C10 的动合触点状态，其右侧若有 ■ 标记，表示 C10 动合触点闭合，相反表示动合触点断开，R 表示 C10 复位电路的状态。当其右侧有 ■ 标记时表示其复位电路闭合，复位位为 ON 状态；若无 ■ 标记表示其复位电路断开，复位位为 OFF 状态。

(5) 对步状态继电器的监视。采用指令或编程元件的测试功能使特殊辅助继电器 M8047 (STL 监视有效) 为 ON，然后先进入元件的监视状态 M，再按下 STL 键和 GO 键，可以监视最多 8 点为 ON 的步状态继电器 S，它们按照元件从大到小的顺序排列。

6. 强制元件置位/复位

编程器的测试功能的标识符为 T，测试功能用于对用户程序中位元件的触点和线圈进行强制置位/复位 (ON/OFF) 操作。此操作只能在 PLC 的工作方式开关为 STOP 时使用。

要强制元件为 ON/OFF，首先要进入位元件的监视状态，然后再对元件进行测试。例如要对元件 Y13 进行强制 ON/OFF，首先要进入对 Y13 的监视状态：

→[M]→[SP]→[Y]→[1]→[3]→[GO]

再按 MNT/TEST 功能键，出现测试标识符 T 后，对位元件进行测试，其按键的操作顺序为

→[T]→[SET] (强制 Y13 为 ON) →[RST] (强制 Y13 为 OFF)

操作时可观察到显示屏上 Y13 旁 ■ 标记的变化。

8.2 Fxgpwin 编程软件的使用

Fxgpwin 编程软件是专为 FX 系列 PLC 设计的编程软件，其占用空间小，功能较强。该软件可以采用梯形图和指令语句编程，并可以实现两者间的相互转换；可以实现各种监控和测试功能，如梯形图的监控、元件的监控；可以强制位元件 ON/OFF；可以改变 T、C、D 的当前值等。



8.2.1 Fxgpwin编程软件使用说明

运行 Fxgpwin 编程软件后，计算机显示器上将出现 Fxgpwin 软件的小图标，双击 Fxgpwin 的小图标，将出现初始启动画面，单击初始启动界面菜单栏中文件菜单，并在下拉菜单中选取新文件菜单条，即出现如图 8.6 所示的 PLC 型号选择界面图（PLC 类型选择对话框），选择好 PLC 的机型，单击确认后，则出现如图 8.7 所示的编辑程序菜单界面图（主界面）。

主界面分为以下几个主要区域：菜单栏（包括 11 个主菜单项）、工具栏（快捷操作窗口）、用户编辑区。在用户编辑区下边分别是状态栏及功能栏，在界面的右侧还有功能图栏。其操作功能分别说明如下。



图 8.6 PLC 型号选择界面图

1. 菜单栏

菜单栏是以菜单形式操作的入口，菜单中包含文件、编辑、工具、查找、视图、PLC、遥控、监控/测试等项，用鼠标单击某项菜单项，可弹出该菜单项的细目。如文件项目的细目包含：新建、打开、保存、另存为、打印、页面设置等项；编辑菜单项包含：剪切、复制、粘贴、删除等项。这两个菜单项的主要功能是管理、编辑程序文件。菜单条中的其他项目为编程形式（梯形图和指令语句表）的变换、程序的下载传送、程序监控及测试等功能的操作。

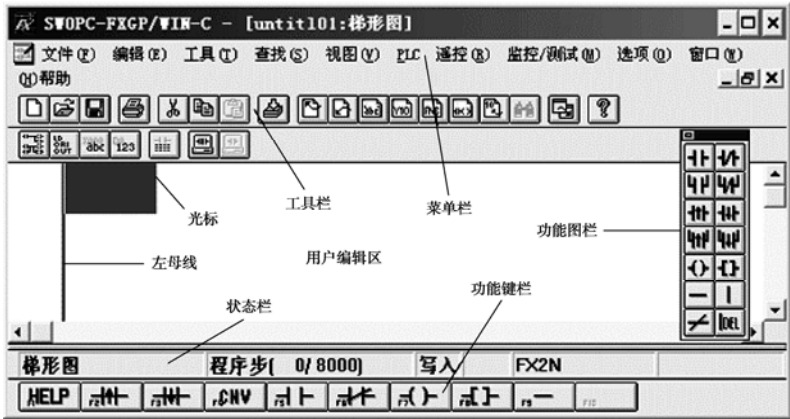





图 8.7 编辑程序菜单界面图

2. 工具栏

工具栏提供简便的鼠标操作，将最常用的 Fxgpwin 编程软件的编程操作以按钮形式设定到工具栏中。用户可以利用菜单栏中的“视图”菜单选项来显示或隐藏工具栏。菜单栏中涉及的各种功能在工具栏中都能找到。
















3. 编辑区

用户编辑区用来显示程序编辑操作的区域，可选择使用梯形图、指令表等方式进行程序的编辑工作。使用菜单栏中“视图”梯形图及指令表菜单条，可实现梯形图程序与指令表程序间的转换。也可利用工具栏中的按钮，将所编辑好的梯形图转换成指令表，另外利用程序查找按钮和可以直接查找到所编辑程序的开始和结尾。工具栏中的其他按钮的功能可按照图 8.7 所示的内容，单击后了解其操作功能。

4. 状态栏、功能键栏及功能图栏

编辑器的下部是状态栏，用于表示编程 PLC 类型、软件的应用状态及所处的程序步数等。状态栏下为功能键栏，它与编辑区中的功能图栏都含有各种梯形图符号，相当于梯形图绘制的图形符号库。功能图栏的符号及其含义如表 8.2 所示。

表 8.2 功能图栏的符号及含义

梯形图符号	含 义	梯形图符号	含 义
	动合触点		动断触点
	并联动合触点		并联动断触点
	上升沿动合触点		下降沿动合触点
	并联上升沿动合触点		并联下降沿动合触点
	线圈		功能指令框
	横线		竖线
	取反	 DEL	删除竖线

8.2.2 编程软件的程序编辑操作

1. 程序编辑操作

（1）采用梯形图方式编程。采用梯形图编程是在编辑区中绘制梯形图，首先选择文件菜单项中的新文件选项，再通过打开视图菜单项目，选择梯形图或指令表的编程形式。

若选择梯形图编程形式，打开新建文件夹时主窗口左边可以见到一根竖直的线，这就是梯形图中左母线，蓝色的方框为光标。梯形图的绘制过程是取用图形符号库中的符号，“拼绘”梯形图的过程。比如要输入一个动合触点，可单击功能图栏中的动合触点，也可以在工具菜单中选择触点，并在下拉菜单中单击动合触点符号，这时出现如图 8.8 所示的对话框，在对话框中输入触点的地址及其他有关参数后单击确认按钮，要输入的动合触点及其地址就出现在蓝色光标所在的位置。

如需输入功能指令时，单击工具菜单中的“功能”菜单或单击功能图栏[]及功能键中的“功能”按钮，即可弹出如图 8.9 所示的对话框，然后在对话框中填入功能指令的助记符及操作数，单击确认按钮即可。



图 8.8 输入元件对话框

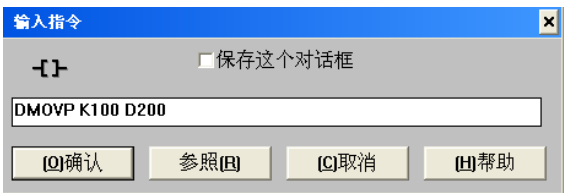


图 8.9 输入功能指令对话框

输入功能指令时需要注意：

- ① 助记符与操作数间要空格。
- ② 指令的脉冲执行方式中加的 P 与指令间无空格。
- ③ 32 位数据操作指令的助记符与其前面的 D 间无空格。

梯形图符号间的连线可通过工具菜单中的连线菜单选择水平线与竖线完成。另外还需注意，不论绘制什么图形，先要将光标移到梯形图中要绘制这些符号的地方。梯形图符号的删除用计算机的删除键，梯形图竖线的删除用菜单栏中工具菜单中的竖线删除。梯形图元件及电路块的剪切、复制和粘贴等方法与其他编辑类软件操作相似。

当绘制的梯形图需保存时，要先选择菜单栏中工具下拉菜单中的“转换”选项，转换成功后才能保存。若绘制梯形图未经转换而单击保存按钮存盘，则会造成编辑软件关闭，绘制的梯形图将丢失。

(2) 采用指令表的方式编程。采用指令表编程比较简单，选择“视图”→“指令语句表”即可，或者单击工具栏中的“指令语句视图”图标，进入指令表编程方式，即在编辑区光标位置直接用键盘输入指令语句，一条指令输入完毕后，按回车键后光标移至下一条指令，则可输入下一条指令。指令语句表编辑方式中指令的修改也十分方便，将光标移到需修改的指令语句上，重新输入新指令即可。

无论采用梯形图编程或是指令表编程，当编程完成后，通过选择视图菜单中梯形图和指令表，两者间可以进行转换。

2. 程序的检查

程序编制完成后，可利用菜单栏中的选项菜单下的程序检查功能，对程序做语法、双线



圈及电路错误的检查。如有问题，会显示出程序存在的错误。

3. 计算机和PLC间程序的传送

程序编辑完成后若需要传送到 PLC 中运行，首先将 PLC 的工作方式开关置于“STOP”状态，再单击菜单栏中“PLC”→“传送”→“写入”命令，出现一个对话框，选中“范围设置”按钮，将所编辑程序的步序号写入到对话框中的“终止步”，然后单击“确认”按钮，即可将步序号范围内的程序写入到 PLC 中。如果选择“所有范围”按钮，则程序写入到 PLC 的 0~7999 步中，这样写入的时间就会变长。在“写出”的过程中，计算机会自动将计算机中的程序与 PLC 中的程序进行核对。

若要将 PLC 中的程序传送到计算机，可选择 PLC→“传送”→“读出”命令，就可以将 PLC 中的程序读入到计算机中。执行读入命令后，计算机中的程序将丢失，即原有的程序被读入的程序所代替。在此可以对读入到计算机中的程序进行修改。

如果选择 PLC→“传送”→“核对”命令，就可以将 PLC 中的程序和计算机中的程序进行对比，并将其中不同的部分显示出来。

4. 程序的运行及监控

Fxgppwin 编程软件具有监控功能，可用于程序的运行及监控。在程序已读入到 PLC 之后，要运行或监控程序，则首先要将 PLC 的工作方式开关置于“RUN”状态。

(1) 程序的运行及监控。程序下载后仍保持编程计算机与 PLC 的联机状态并启动程序运行，在编辑区显示梯形图的状态下，单击菜单栏中“监控/测试”选项后，单击“开始监控”即进入元件的监控状态。这时，在梯形图上将显示各触点的状态及各数据存储单元的数值变化情况，如图 8.10 所示。图中有长方形光标显示的位元件，表示该元件处于接通状态，数据元件中的数据可直接标出。在监控状态时单击“停止监控”可终止监控状态。

元件状态的监视还可以通过表格方式实现。在编辑区显示梯形图或指令语句表的状态下，单击菜单栏中“监控/测试”选项，再选择“进入元件监控”项，则进入元件监控状态对话框，这时可在对话框中设置需要监控的元件，在 PLC 运行程序时就可显示程序运行中要监控元件的状态。



图 8.10 编制的梯形图界面



(2) 位元件的强制状态。在调试中可能需要 PLC 的某些位元件处于 ON 或 OFF 状态，以便观察程序的反应，这可以通过监控/测试菜单项中的“强制 Y 输出”及“强制 ON/OFF”命令来实现。选择这些命令时会弹出对话框，在对话框中设置需强制的元件号并单击“确定”按钮即可。

(3) 改变 PLC 字元件的当前值。在调试中若需改变字元件的当前值，如定时器、计算器的当前值及存储单元的当前值等，具体操作也是从“监控/测试”菜单进入，选择改变当前值，在弹出的对话框中设置元件号及数值后单击“确定”按钮即可。

5. PLC程序的保存和打开

单击文件菜单中的“保存”子菜单即可对文件进行保存，界面如图 8.11 所示。选择正确的文件名，按回车键，出现如图 8.12 所示的界面，输入文件名，按“确定”键即可。



图 8.11 文件保存界面



图 8.12 文件另存为界面

8.3 GX Developer编程软件的使用

GX Developer 是三菱公司设计的在 Windows 环境下使用的全系列 PLC 编程软件，是可以用于 Q 系列、QnA 系列、A 系列、FX 系列 PLC 的全系列编程软件。该软件简单易学，具有丰富的工具箱和可视化界面。可以采用梯形图、指令表、SFC 及功能块等多种方法编程，能现场进行程序的在线修改，具有监控、诊断及调试功能，实现故障的迅速排除。GX Developer 还可进行网络参数设定，并通过网络实现诊断及监控。GX Developer 编程软件有如下功能。



(1) 采用标号编制程序。GX Developer 具有采用标号编程的方式，可以先不确定软元件号，根据标号编制成标准程序，这种程序可以依据实际情况，汇编成适用于不同 PLC 环境的程序使用。该软件还具有功能块的程序设计方法，此方法可以提高顺序控制程序的编制效率。

(2) 对可编程控制器的 CPU 进行读/写操作。

(3) 监视及调试功能。GX Developer 可以把制作好的程序写入 PLC 的 CPU 内，以实现回路监视、软元件同时监视、软元件登录监视等功能。可以方便地测试程序能否正常运转。此外，由于运用了 GX Simulator 的梯形图逻辑测试功能，能够更加简单地进行程序调试。

(4) PLC 诊断功能。将当前的错误状态或故障显示出来，可实现在短时间内恢复工作。

(5) 采用多种方法与 PLC 连接。GX Developer 可以通过串行通信口、USB 接口、CC-Link 扩展模块、Ethernet 扩展模块与 PLC 相连。

1. GX Developer 编程软件的使用

通过单击“开始”菜单中的“程序”→“MELSOFT 应用程序”→“GX Developer”就可以启动 GX Developer。通过单击“工程”菜单的“GX Developer 关闭”，就可以关闭 GX Developer 编程软件。

GX Developer 软件能将所有顺控程序、参数及顺控程序中的注释、声明、注解等以工程的形式进行统一的管理。在 GX Developer 的工程窗口下，不但可以方便地编辑顺序控制程序及参数等，而且可以设定所使用的 PLC 类型。GX Developer 编程软件的基本操作说明如下。

单击 GX Developer 的“工程”→“新建工程”命令，或单击工具栏中的“工程生成”按钮（或按快捷键 Ctrl+N），就可以新建一个工程了，创建新工程的界面如图 8.13 所示。

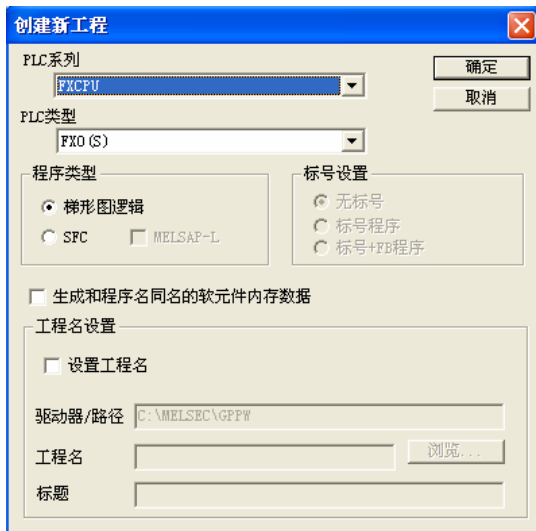


图 8.13 创建新工程

在创建新工程界面，首先设定 PLC 的系列及 PLC 的类型，再设定梯形图逻辑或 SFC 程序的编程类型，还可对是否采用标号程序等进行设定。当确定了对话框中的所有内容后，即可进入梯形图写入窗口，进行梯形图的设计。



2. 梯形图的设计

梯形图的创建方法有几种：通过键盘输入指令助记符的方式创建；通过工具栏的工具按钮创建；通过功能键创建；通过工具栏的菜单创建。

执行上述操作后，将显示“梯形图写入”窗口，如图 8.14 所示。单击“连续输入”选择按钮后，将不关闭梯形图输入窗口并可以连续输入梯形图触点。如果想要在梯形图模式下输入“LD X0”，可以通过“触点线圈类型”的下拉列表框，选择相应的触点或者线圈（如 LD ），在“软元件指令输入栏”中输入元件号（如 X0），或者在梯形图的输入窗口的软元件输入栏中直接输入相应的指令语句（如 LD X0），即可完成梯形图模式下的元件、指令的输入。注意，指令的助记符和元件号间应有空格。




图 8.14 梯形图写入窗口

在绘制梯形图时，应注意以下几点：

- ① 一个梯形图块应在 24 行以内设计，否则会出错。
- ② 一个梯形图的行触点数为 11 个触点+1 个线圈。如果在设计梯形图时，一行中出现有 12 个触点以上时将自动移至下一行。
- ③ 梯形图剪切和复制的最大范围为 48 行。
- ④ 梯形图符号的插入依据挤紧右边和列插入的组合来处理，所以有时梯形图的形状也会出现无法插入的情况。
- ⑤ 在读取模式下，剪切、复制、粘贴等操作不能进行。
- ⑥ 当梯形图块显示为黄色时，表示该梯形图块存在错误。选择“工具”→“程序检查”命令，可以确认出错内容并修改程序。

3. 梯形图和列表的变换与修改

首先单击（激活）要进行变换的窗口，再单击工具栏上的  按钮或使用快捷键 F4 完成程序变换。若在程序变换过程中出现错误，则保持灰色并将光标移至出错区域。此时，可双击编辑区，调出程序输入窗口，重新输入指令。若在梯形图变换中发现程序有问题，则可以



利用编辑菜单的插入、删除操作对梯形图进行必要的修改，直至实现程序的变换。

4. 创建软元件注释

软元件注释包括共用注释及各程序注释。

(1) 共用注释：如果在一个工程中创建多个程序，共用注释在所有的程序中有效。

(2) 各程序注释：它是一个注释文件，在各个程序内有效的注释，即只在一个特定的程序内有效。

创建共用注释的操作：选择“工程数据列表”中的“软元件注释”→COMMENT 项；

创建各程序注释的操作：选择“工程”→“编辑数据”→“新建”→“数据类型”命令（各程序注释），设置数据名及索引。

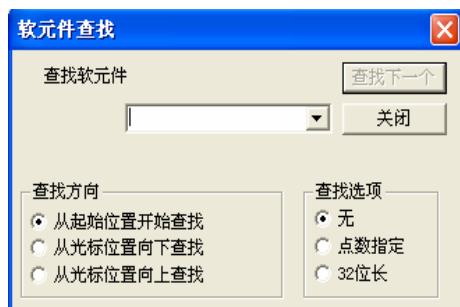
通过对梯形图软元件编辑注释，实现对已建立的梯形图中每个软元件的用途进行说明，以便能够在梯形图编辑界面上显示各软元件的用途，例如，编辑“X10”的用途为“停止”。每个软元件注释不能超过 32 个字符。

5. 梯形图中软元件的查找和替换

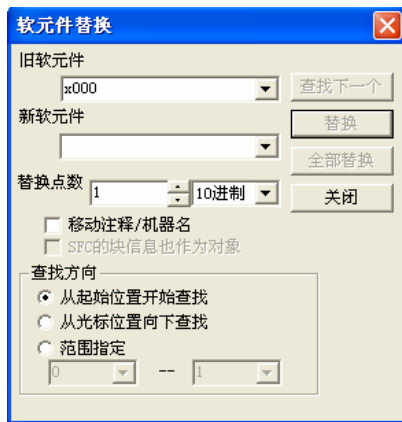
当要对较复杂的梯形图中的软元件进行批量修改时，可采用梯形图的“查找/替换”操作。单击 GX Developer 菜单中的“查找/替换”→“软元件查找”或工具栏上的“查找”按钮，就可进入查找对话框，如图 8.15（a）所示。

通过查找对话框，可以指定所查找的软元件，对查找方向及查找对象的状态进行设定。

在梯形图写入状态下，单击 GX Developer 菜单中的“查找/替换”→“软元件替换”按钮，就可进入替换对话框，如图 8.15（b）所示。



(a)



(b)

图 8.15 查找和替换软元件编辑

另外，软件还具有指令的“查找/替换”及“动合/动断”触点的互换等功能。

6. 指令表编辑

指令语句编辑为利用指令表进行程序的编辑。单击 GX Developer 菜单中的“显示”→“列表示”或单击工具栏上的操作按钮，就可以进入指令表编辑区，如图 8.16 所示。



图 8.16 指令表编辑区

7. PLC程序的写入和读取

(1) 传输设置。采用专用电缆将 PLC 计算机连接，并将 PLC 各种方式开关置于“STOP”状态，以便于将已编制好的程序写入到 PLC。传输设置对话框如图 8.17 所示。在传输设置对话框中，可以进行 PLC 和计算机的串口通信口及通信方式的设定，可以进行其他网络站点的设定及通信测试。



图 8.17 传输设置对话框

(2) 从 PLC 读取/写入数据。单击“在线”→“PLC 读取”或单击工具栏上的 PLC 读取工具按钮，就可以打开“PLC 读取”对话框，进行相关的选择及设定并执行，可将 PLC 中的程序读入计算机；单击“在线”→“PLC 写入”或单击工具栏上的 PLC 写入工具按钮，就可以打开“PLC 写入”对话框，进行相关设置并执行，就可将已编制好的程序写入 PLC，如



图 8.18 所示。

在 PLC 读取或写入对话框中，可以对读取或写入的文件种类进行选择，也可以对软元件数据及程序的范围进行设定。另外，还可以实现计算机和 PLC 中程序及参数的校验。

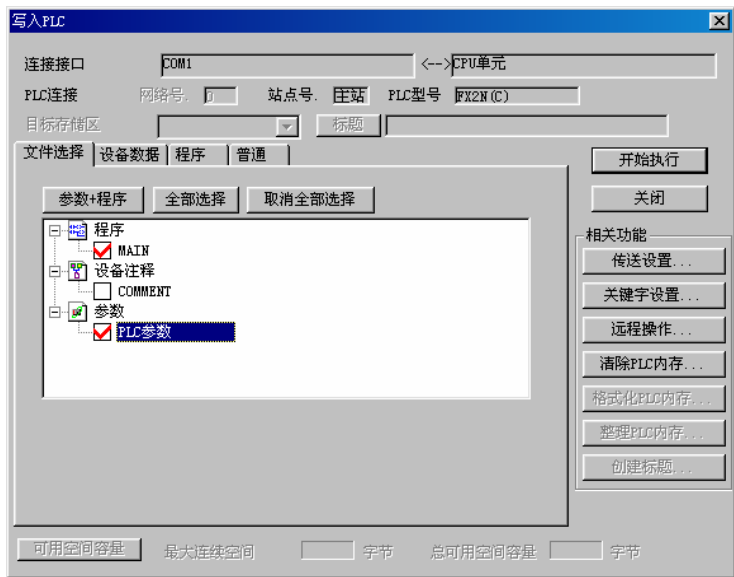


图 8.18 PLC 写入对话框

8. 监视

通过单击菜单中的“在线”→“监视”，就可监视 PLC 的程序运行状态。当程序处于监视模式时，不论监视开始还是停止，都会显示监视状态对话框，如图 8.19 所示。由监视状态对话框可以观察到被监视的 PLC 的最大扫描时间、当前的运行状态等相关信息。在梯形图上也可以观察到各输入、输出软元件的运行状态，并可通过“在线”→“监视”→“软元件批量”实现对软元件的成批监视。

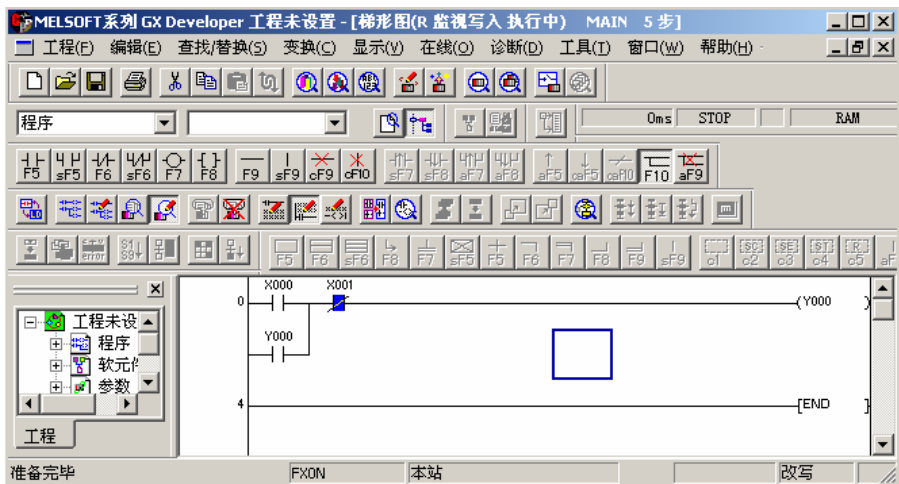


图 8.19 PLC 的监控状态对话框



当 PLC 处于在线监视状态下，仍可按“在线”→“监视”→“监视（写入模式）”操作，对程序进行在线编辑，并进行计算机与 PLC 间的程序校验。

PLC 除了能实现在线监视当前程序运行状态外，还可以利用“在线”→“跟踪”→“采样跟踪”，间隔一定的时间采样跟踪指定软元件的内容（即 ON/OFF 状态、当前值），并将采样结果存储到存储器的采样跟踪区域内。通过使用这一功能，可以查看指定软元件的数据内容的变化过程，以及触点、线圈等 ON/OFF 状态的时序。

可编程控制器是一门实践性很强的专业课程,通过实验可以加深理解所学的知识,提高动手解决问题的能力。为达到较好的实验效果,本章设置了难、易程度及复杂程度不同的内容,同时还设置了选做内容。

9.1 可编程控制器认识实验

1. 实验目的

- (1) 熟悉手持式编程器的使用;
- (2) 练习各种类型指令的写入、读出和修改方法;
- (3) 学习程序运行的方法。

2. 预习要求

- (1) 复习可编程控制器的基本组成及工作原理;
- (2) 复习 PLC 的外部接线方式;
- (3) 阅读手持式编程器的使用说明;
- (4) 复习基本逻辑指令的操作功能。

3. 实验设备及器材

- (1) FX 系列 PLC 一台;
- (2) 手持编程器一台;
- (3) 编程电缆。

4. 实验内容

- (1) 编程器使用练习;
- (2) 程序运行操作练习。



5. 实验步骤

(1) 关闭电源，将专用电缆插到手持式编程器插孔中，电缆的另一端接 PLC 基本单元的插座，并将 PLC 基本单元的工作方式开关（STOP/RUN）置于 STOP 位置。

(2) 按下 PLC 的电源开关，PLC 通电，电源指示灯 POWER 点亮，手持式编程器的液晶显示窗口显示自检内容。

(3) 清除 PLC 的“RAM”中内容的操作步骤如下。

[RD]→[WR]→[NOP]→[A]→[GO]→[GO]

当液晶显示屏幕上全部显示为“NOP”时，即可写入程序。

(4) 写入程序时，首先要选择功能编辑键，键盘上分别有 RD/WR、INS/DEL、MNT/TEST 等，分别表示读/写、插入/删除、监控/测试功能。这些键均为一键两用，其功能为后按者有优先权。当操作这些键时，在液晶显示窗口的左上角显示出对应的标识符：R 和 W、I 和 D、M 和 T。

(5) 编程器的操作练习。

① 写入指令的操作。将下面所示的指令语句写入 PLC。

00 LD X0	08 OUT T0	14 LD X6
01 AND X1	K10	15 OUT C0
02 OUT Y0	09 LD T0	K5
03 LD X2	10 OUT T1	16 LD X4
04 OR X3	K10	17 OUT Y3
05 OUT Y1	11 OUT Y2	18 END
06 LD X4	12 LD X5	
07 ANI T1	13 RST C0	

② 读出指令练习。将上面写入的指令语句按照下面的按键操作顺序读出。

[RD]→[STEP]→[0]→[GO]

③ 修改指令练习。读出 02 条语句，并将其改写成“OUT M0”；在第 11 条语句前插入“OUT Y3”指令语句；读出 08 条语句并将 T0 的时间常数 K10 改写为 D0。

④ 写入并运行程序的操作练习。

加法运算程序的运行操作练习：

- 将图 9.1 (a) 所示的加法运算梯形图所对应的指令语句写入 PLC；
- 将 PLC 的工作方式切换开关置于 RUN 位置；
- 闭合输入开关 X10，观察 PLC 输出端 Y17~Y0 的变化规律。

顺序控制程序的运行操作练习：

将图 9.1 (b) 所示的顺序控制梯形图所对应的指令语句写入到 PLC；将 PLC 置于 RUN 状态；操作 PLC 输入端 (X) 信号以脉冲形式变化 (OFF→ON→OFF)，模拟运行程序。

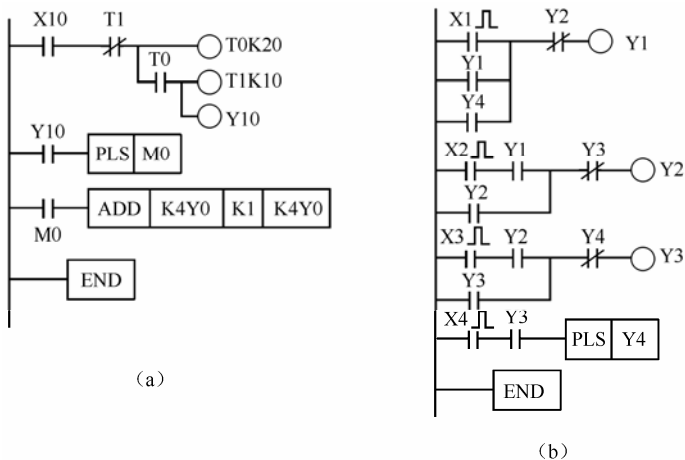


图 9.1 运行程序练习

9.2 基本逻辑指令实验

1. 实验目的

- (1) 通过实验掌握基本逻辑指令的使用；
- (2) 掌握程序的写入、检查和修改等操作方法；
- (3) 熟悉 PLC 程序运行的方法。

2. 预习要求

- (1) 复习基本逻辑指令的操作功能；
- (2) 编写基本逻辑指令的简单应用程序；
- (3) 阅读手持式编程器的使用说明；
- (4) 写出本次实验中梯形图所对应的指令语句。

3. 实验设备及器材

- (1) FX 系列 PLC 一台；
- (2) 手持式编程器一台；
- (3) 编程电缆。

4. 实验内容和步骤

(1) 实验要求：将下面梯形图对应的指令语句写入 PLC，再读出并检查写入的指令语句；操作 PLC 运行程序，手动操作输入信号，观察输出的状态，并记录 PLC 程序运行的结果。

(2) 实验内容。

① 上升沿下降沿取指令的应用。图 9.2 所示为上升沿和下降沿取指令的应用。上升沿和下降沿指令的执行时间为一个扫描周期。分析画出相对应 X12、X14 的变化，输出 Y3、Y5



状态的变化情况。

② 基本指令的应用。图 9.3 所示为基本指令的应用梯形图，通过实验分析图中第三个梯级中 Y2 动合触点和 X13 动断触点的作用。

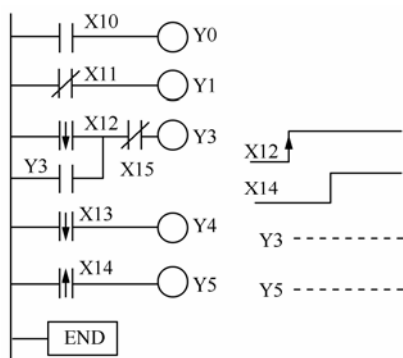


图 9.2 上升沿和下降沿取指令的使用练习

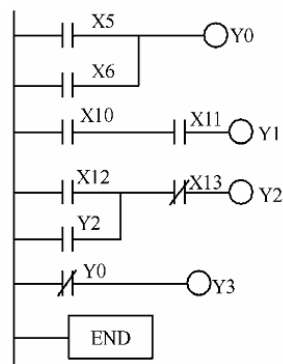


图 9.3 基本指令应用梯形图

③ 电路块指令的使用练习，见图 9.4。

④ 置位、复位指令的使用练习，见图 9.5。

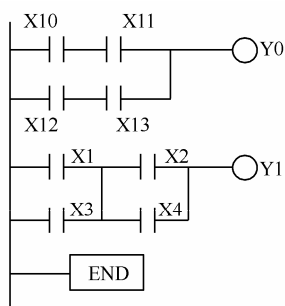


图 9.4 电路块指令的使用练习

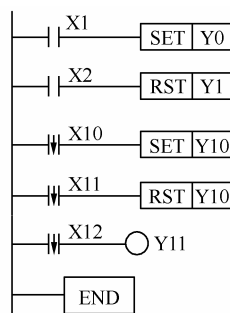


图 9.5 置位、复位指令的使用练习

⑤ 基本指令的应用程序。图 9.6 (a) 所示为优先电路，手动输入 X1 和 X2 信号，先到者优先控制输出。将实验的结果填入表 9.1 中。通过实验分析，在第一和第二梯级中相互串入 M10 和 M11 各自动合触点的作用。

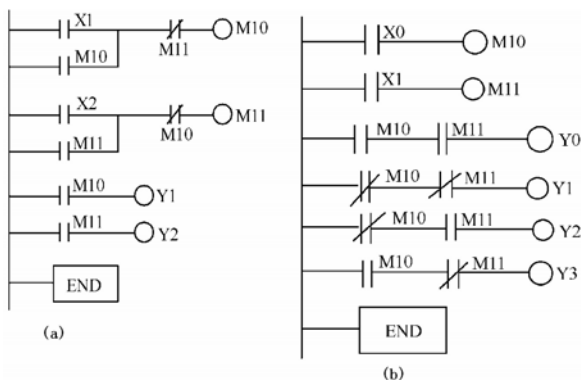


图 9.6 优先电路 (a)，比较鉴别电路 (b)



表 9.1 优先电路的实验结果

输入 X 的状态		输出 Y 的状态	
动作顺序	状态	Y1	Y2
X1 先于 X2	ON		
X2 先于 X1	ON		

图 9.6（b）所示为比较鉴别电路，该电路采用两个状态不同的输入信号 X0 和 X1，产生 4 种不同的输出状态（Y0、Y1、Y2、Y3），故称为比较鉴别电路。根据表 9.2 中 X 的状态进行实验，并将实验结果填入表 9.2 中。

表 9.2 比较鉴别电路实验结果

输入 X 的状态		输出 Y 的状态			
X0	X1	Y0	Y1	Y2	Y3
ON	ON				
OFF	OFF				
OFF	ON				
ON	OFF				

5. 实验报告要求

- （1）写出实验中梯形图对应的指令语句；
- （2）整理实验操作结果并填入表格中；
- （3）总结实验中所用指令的使用方法。

9.3 栈指令、主控指令和脉冲指令实验

1. 实验目的

- （1）掌握栈指令 MPS、MRD、MPP 的使用方法；
- （2）掌握主控指令 MC 和 MCR 的使用方法；
- （3）熟练掌握编程器的使用。

2. 预习要求

- （1）复习栈指令 MPS、MRD、MPP 的操作功能及使用方法；
- （2）复习主控指令 MC 和 MCR 的操作功能及使用方法；
- （3）阅读实验步骤；
- （4）写出本次实验中梯形图所对应的指令语句；
- （5）分析梯形图并画出相对应的时序波形图；
- （6）分析梯形图原理并预先将实验结果填入实验表格中。



3. 实验设备及器材

- (1) FX 系列 PLC 一台；
- (2) 手持式编程器一台；
- (3) 编程电缆。

4. 实验内容和步骤

(1) 栈指令实验。

① 已知栈指令使用练习梯形图一，如图 9.7 所示。

实验步骤：按照梯形图输入指令语句，操作 PLC 运行程序；手动输入信号 X0~X7，观察输出端信号的变化情况，分析 X0 和 X3 对输出 Y0~Y5 的影响。

② 已知栈指令使用练习梯形图二，如图 9.8 所示。

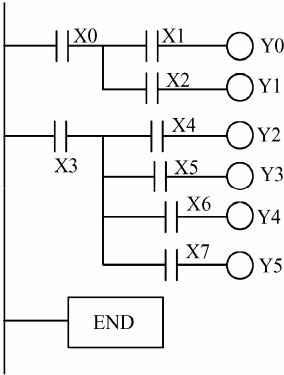


图 9.7 栈指令使用练习梯形图一

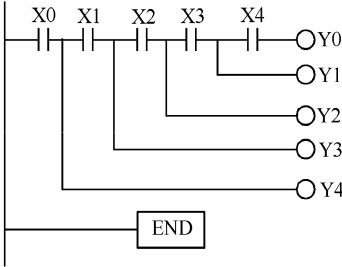


图 9.8 栈指令使用练习新梯形图二

实验步骤：按照梯形图输入指令语句，操作 PLC 运行程序；手动输入信号 X0~X4，观察输出端信号的变化情况，分析 X0 对输出 Y0~Y4 的影响，将 Y0~Y4 的变化和实验预习分析的结果进行比较，并将正确的结果填入表 9.3 中。

表 9.3 实验数据

输入 X 的状态					输出 Y 的状态				
X0	X1	X2	X3	X4	Y0	Y1	Y2	Y3	Y4
ON	ON	ON	ON	ON					
	ON	ON	ON	OFF					
	ON	ON	OFF	OFF					
	ON	OFF	OFF	OFF					
	OFF	OFF	OFF	OFF					
	OFF	ON	ON	ON					
	OFF	OFF	ON	ON					
	OFF	OFF	OFF	ON					
OFF	—	—	—	—					

注：表格中“—”为任意状态。



(2) 主控指令实验。图 9.9 所示为主控指令使用练习梯形图。

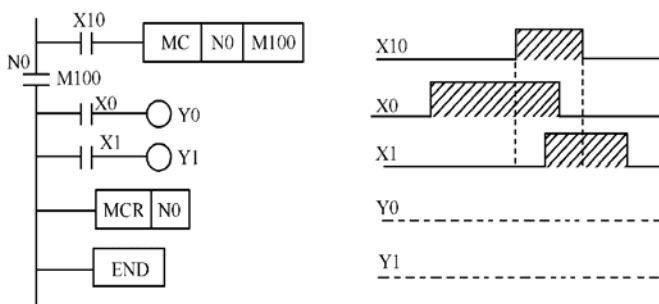
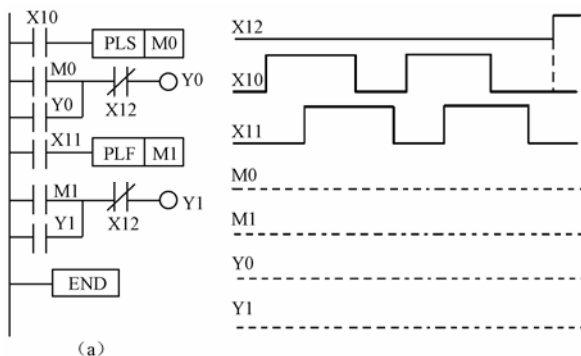


图 9.9 主控指令使用练习梯形图

实验步骤:

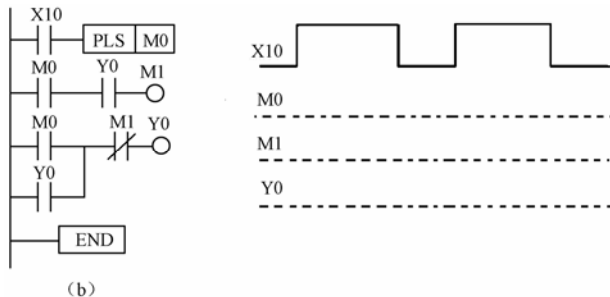
- ① 根据梯形图输入指令语句，操作 PLC 运行程序；
- ② 使输入信号 $X10=OFF$ 、 $X0=X1=ON$ ，观察 PLC 输出端 $Y0$ 、 $Y1$ 的变化情况；
- ③ 使输入信号 $X10=ON$ 、 $X0=X1=ON$ ，观察 PLC 输出端 $Y0$ 、 $Y1$ 的变化情况；
- ④ 根据主控指令的操作功能，分析 $X10$ 对输出 $Y0$ 、 $Y1$ 的影响。将 $Y0$ 、 $Y1$ 时序波形图的变化和实验预习分析的结果进行比较，画出正确的波形图。

(3) 脉冲指令实验。图 9.10、图 9.11 所示为脉冲指令使用练习梯形图。



(a)

图 9.10 脉冲指令使用练习梯形图一



(b)

图 9.11 脉冲指令使用练习梯形图二

实验步骤:

- ① 根据梯形图输入指令语句，操作 PLC 运行程序；
- ② 参考图中所示时序波形图中输入信号的变化，改变输入 X 信号，同时观察 PLC 输出



端 Y 的变化情况;

③ 分析画出对应 X 变化时 M0、M1 及 Y 的时序波形图;

5. 实验报告要求

(1) 整理实验操作结果(表格内容及时序波形图);

(2) 总结实验中所用指令的使用方法。

9.4 定时器和计数器实验

1. 实验目的

(1) 掌握定时器、计数器指令的编程方法;

(2) 掌握定时器时间常数的设置方法;

(3) 掌握定时器、计数器的使用技巧。

2. 预习要求

(1) 复习定时器、计数器指令的操作功能及使用方法;

(2) 提前阅读实验内容和步骤;

(3) 写出本次实验中梯形图所对应的指令语句;

(4) 分析梯形图并画出相对应的时序波形图。

3. 实验设备及器材

(1) FX 系列 PLC 一台;

(2) 手持式编程器一台;

(3) 编程电缆。

4. 实验内容和步骤

(1) 定时器指令实验。图 9.12 所示为定时器指令梯形图的工作原理。图中内部辅助继电器 M8028 为 OFF 时, T0~T62 的计时脉冲为 100ms; 当 M8028 为 ON 时, 控制定时器 T32~T62 的计时脉冲为 10ms。X1、X2 分别为定时器 T0、T33 的执行条件。实验时通过操作 X20 的 ON/OFF 状态, 观察对输出 Y0、Y1 的延时作用。

实验步骤:

① 按照梯形图输入指令语句, 检查输入程序的正确性, 操作 PLC 运行程序;

② 使 X20=OFF, 手动操作输入信号 X1=X2=ON, 观察输出端 Y0、Y1 的延时输出情况;

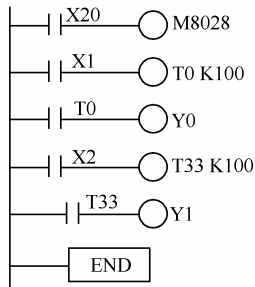


图 9.12 定时器指令使用练习梯形图



- ③ 手动操作 X20=ON 后，再使 X1=X2=ON，观察输出 Y0、Y1 延时时间的变化情况；
④ 改变 T0、T1 的设定值，观察输出 Y0、Y1 延时时间的变化情况。

(2) 计数器指令实验。图 9.13 所示为计数器指令梯形图的工作原理。计数器的设定常数 K=5，当 X10 为 OFF 时，操作 X7 的 ON/OFF 变化 5 次，Y0 有输出。当 X10 为 ON 时，计数器 C0 被复位，X7 计数输入信号无效。

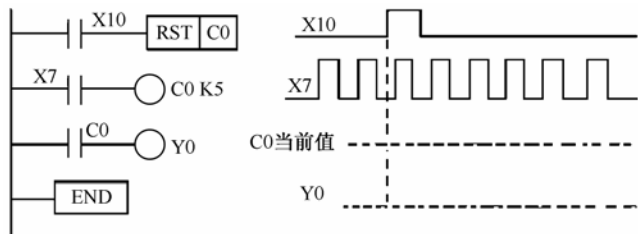


图 9.13 计数器指令使用练习梯形图

实验步骤：按照梯形图输入指令语句，检查输入程序的正确性；操作 PLC 运行程序；手动操作 X7 做 ON/OFF 变化，观察 PLC 输出端 Y0 的状态，并画出相应的时序波形图。

(3) 定时器和计数器的综合实验。图 9.14 所示为定时器和计数器综合使用梯形图。工作原理为：计数器 C0 的设定常数 K=10，当 X10 为 ON（X1 为 OFF）时，定时器 T0 开始定时，经过 2s 后，T0 的常开触点闭合，计数器计数 1 次，与此同时 T0 的常闭触点断开，T0 定时器复位；在下一扫描到来时，T0 的常闭触点复位，T0 线圈得电又开始延时，2s 后计数器再次计数，……，直到计数器计到 10 次，Y0 得电有输出。从 X10 闭合到 Y0 有输出，其延时时间为 $10 \times 2 = 20\text{s}$ 。X1 为 ON 时计数器 C0 复位。

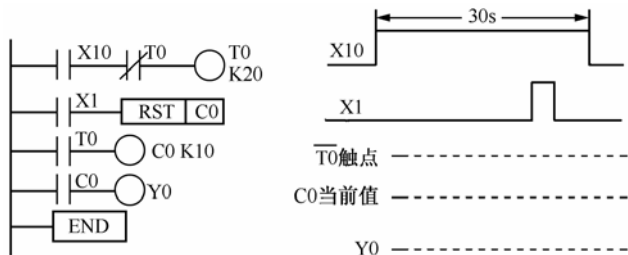


图 9.14 定时器和计数器综合使用梯形图

实验步骤：按照梯形图输入指令语句，检查输入程序的正确性；操作 PLC 运行程序；手动操作输入信号 X10 为 ON，2s 后计数器开始计数，当计满 10 次，Y0 有输出；当操作 X1=ON 时，计数器 C0 复位，Y0 无输出，观察 PLC 输出端 Y0 的状态，并画出时序波形图。

(4) 脉冲发生器实验。图 9.15 所示为脉冲发生器指令梯形图，其工作原理为：当 X10 为 ON（X20 为 OFF）时，定时器 T50 开始延时，10s 后，T50 的常开触点闭合，Y0 得电有输出，与此同时 T51 线圈得电开始延时，5s 后，由于 T51 的常闭触点断开，T50 复位，T51 也复位，T50 常开触点断开，Y0 断电无输出，在下次扫描到来时 T51 常闭触点复位，T50 又开始延时 10s，依次类推，Y0 输出脉冲波形；当 X20 为 ON 时，M8028 得电，Y0 的脉冲周期发生变化。

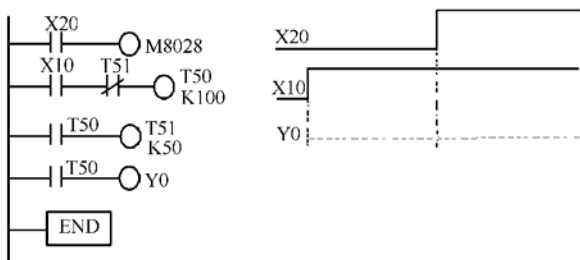


图 9.15 脉冲发生器指令使用练习梯形图

实验步骤：按照梯形图输入指令语句，检查输入程序的正确性；操作 PLC 运行程序；在 X20 分别持续为 ON 或 OFF 两种情况下，手动操作输入信号 X10=ON；观察 PLC 输出端 Y0 的状态变化，画出 Y0 的时序波形图。

5. 实验报告要求

- (1) 整理实验操作结果（时序波形图）；
- (2) 总结实验中所用指令的使用方法。

6. 选做内容——交替输出脉冲实验

图 9.16 所示为交替输出脉冲电路，图中 X10 为启动信号，通过 T0 和 T1 延时时间的设定可以控制交替输出的频率值。

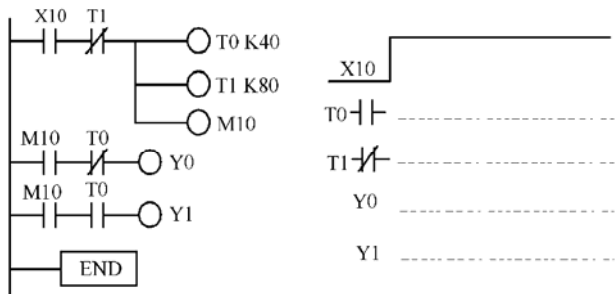


图 9.16 交替输出脉冲电路

实验步骤：按照梯形图输入指令语句，检查输入程序的正确性；操作 PLC 运行程序；手动输入信号 X10=ON，观察输出端 Y0、Y1 的状态；分析画出 T0 和 T1 触点及 Y0、Y1 的时序波形图；分析 Y0、Y1 交替输出的工作原理；说明 T1 常闭触点在电路中的作用。

9.5 跳转和比较指令实验

1. 实验目的

- (1) 掌握跳转指令的使用方法；
- (2) 掌握比较指令的使用方法。



2. 预习要求

- (1) 复习跳转指令的操作功能；
- (2) 复习比较指令的操作功能；
- (3) 写出本次实验中梯形图所对应的指令语句；
- (4) 分析本次实验中梯形图的工作原理，并填写表格中的内容。

3. 实验设备及器材

- (1) FX 系列 PLC 一台；
- (2) 手持式编程器一台；
- (3) 编程电缆。

4. 实验内容和步骤

(1) 跳转指令实验。图 9.17 所示为跳转指令编程梯形图。其工作原理为：在程序运行时，若 X10 为 OFF，不满足跳转条件，程序顺序执行，定时器、计数器工作；当 X10 为 ON 时，程序直接跳到指针 P8 处，跳转指令区域中的继电器状态保持不变；当 X10 再次为 OFF 时，继续按顺序执行程序，定时器、计数器继续工作。

实验步骤如下：

- ① 编程时首先取 X10 为常开触点，运行程序，观察 Y1、Y2、Y3 的状态；
- ② 再将 X10 改为常闭触点编程，重新运行程序，观察程序的执行情况，通过实验，分析图 9.17 所示梯形图的工作原理及跳转指令的操作功能。

(2) 比较指令实验。图 9.18 所示为采用比较指令编程梯形图，图中 X6 为 C5 计数器的计数输入信号，X7 为复位信号，X10 为比较指令的执行条件。

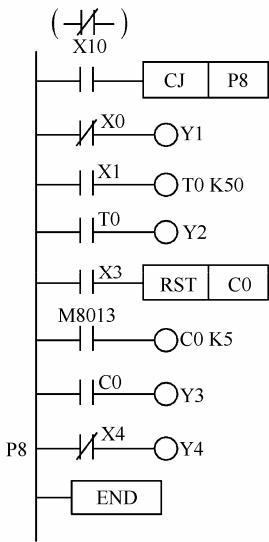


图 9.17 跳转指令编程梯形图

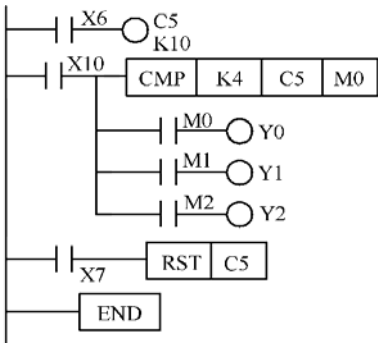


图 9.18 比较指令的使用练习

实验步骤：使 X10=ON，通过操作 X6 的 ON/OFF 状态，使 C5 计数器的当前值分别为 2、



4、5, 观察 3 种情况下 Y0、Y1、Y2 的状态, 验证比较指令的功能; 在需要减小计数器的当前值时, 可通过操作 X7 由 ON 到 OFF 变化一次, 使计数器复位, 再从零开始计数。应注意: 计数器计数时 X7 必须为 OFF 状态。

(3) 区间比较指令。图 9.19 所示为区间比较指令的应用梯形图, 图中 X6 为区间比较指令的执行条件, 比较区间为十进制数 2~6。

实验步骤: 正确输入程序后, 操作 PLC 运行程序; 手动将 X6 置为 ON 状态, 按照图 9.19 中所示的梯形图, 改变输入 X0~X3 状态; 观察输出 Y10~Y12 的状态; 分析验证区间比较指令的功能, 并将比较的结果填入表格内 (自行设计数据表格)。

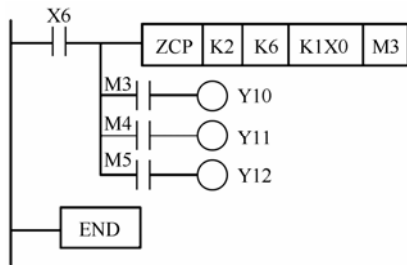


图 9.19 区间比较指令应用梯形图

5. 实验报告要求

- (1) 整理实验操作结果 (表格内容);
- (2) 总结实验中所用指令的使用方法。

6. 选做内容

(1) 比较指令的应用。图 9.20 所示为采用比较指令监视计数值的应用。当 X10 为 ON 时, 若计数器的当前值小于 10 时, Y0 有输出; 当计数器的当前值为 10 时, Y1 有输出; 当计数器的当前值大于 10 时, Y2 有输出; 当计数器的当前值为 15 时, Y3 和 Y2 均有输出。分析 Y3 为 ON 状态的时间。

(2) 区间比较指令的应用。图 9.21 所示为用区间比较指令监视计数值的梯形图, 当 X10 为 ON 时, 计数器的当前值和输出端 Y 的关系如下:

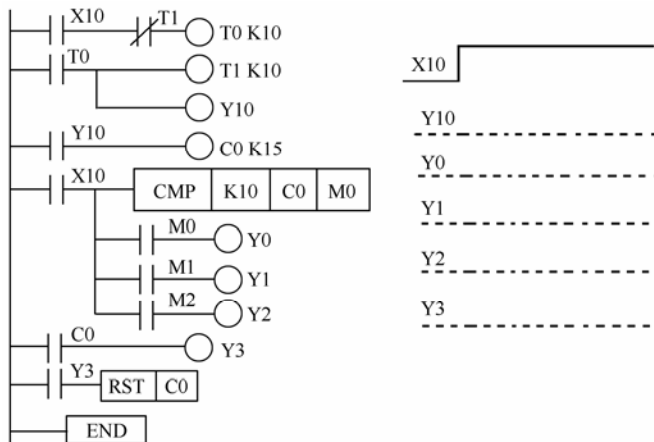


图 9.20 用比较指令监视计数值

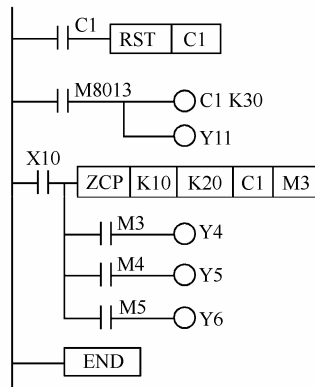


图 9.21 用区间比较指令监视计数值

- ① C1 的当前值小于 10 时, Y4 有输出;
- ② C1 的当前值大于等于 10 而小于等于 20 时, Y5 有输出;
- ③ C1 的当前值大于 20 时, Y6 有输出。



Y11 为内部辅助继电器 M8013（1s 时钟）的输出显示。当计数器的当前值为 30 时，C1 复位，在下一个扫描周期，PLC 又开始循环工作。Y4、Y5、Y6 为 ON 的状态均为 1s。

9.6 步进顺序控制指令实验

1. 实验目的

- (1) 掌握步进指令的功能；
- (2) 掌握功能图的编程方法；
- (3) 掌握步进程序运行的监控操作方法。

2. 预习要求

- (1) 复习步进指令的操作功能及编程方法；
- (2) 阅读实验步骤；
- (3) 画出本次实验中功能图所对应的梯形图，并写出其指令语句；
- (4) 分析梯形图并画出相对应的时序波形图。

3. 实验设备及器材

- (1) FX 系列 PLC 一台；
- (2) 手持式编程器一台；
- (3) 编程电缆。

4. 实验内容和步骤

- (1) 单一循环工作。图 9.22 为单一循环工作的梯形图。

实验步骤：正确输入程序后，运行程序；观察 PLC 的输出；并画出 Y0、Y1、Y2 的时序波形图。

- (2) 选择顺序循环工作。图 9.23 为选择顺序循环工作梯形图。

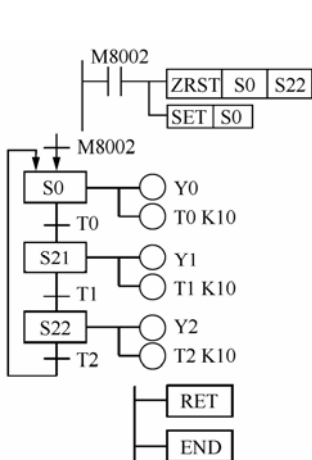


图 9.22 单一循环工作梯形图

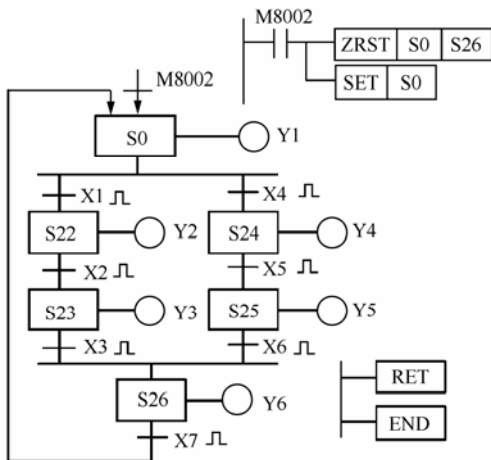


图 9.23 选择顺序循环工作梯形图



(3) 并行顺序循环工作。图 9.24 为并行顺序循环工作梯形图。

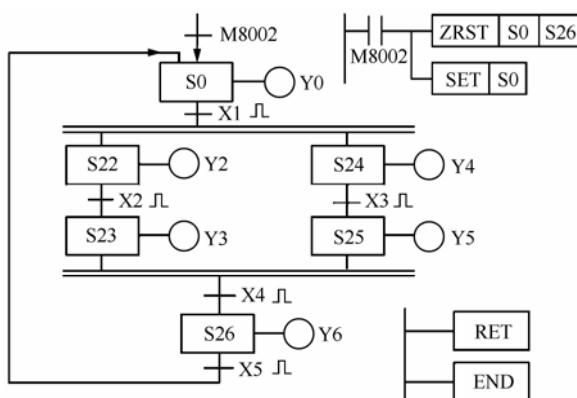


图 9.24 并行顺序循环工作梯形图

实验步骤：正确输入程序后，运行程序；手动操作输入信号 X 做 ON/OFF 变化，观察 PLC 的输出；分析验证功能图的执行顺序。

5. 实验报告要求

- (1) 整理实验操作结果（时序波形图）；
- (2) 写出梯形图对应的指令语句；
- (3) 总结实验中所用指令的使用方法。

6. 选做内容

图 9.25 所示为重复顺序的功能图。实验步骤：正确输入程序后，运行程序；手动改变输入信号 X26 做 ON/OFF 变化，观察 PLC 的输出变化；验证功能图重复控制的功能。

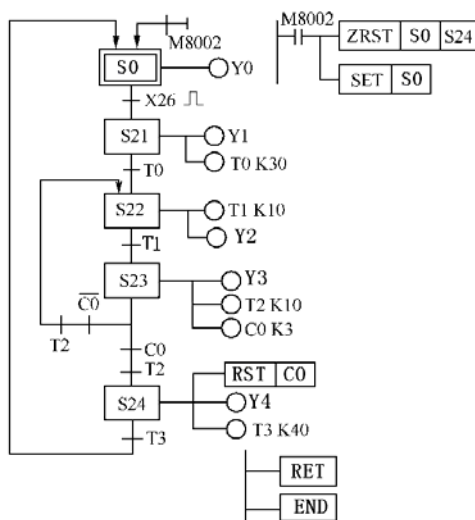


图 9.25 重复控制功能图



9.7 传送、移位指令和解码、编码指令实验

1. 实验目的

- (1) 掌握传送、移位指令使用方法；
- (2) 掌握编码、解码指令的基本使用方法；
- (3) 掌握用位组成字的方法及编程应用；
- (4) 了解 FX 系列 PLC 数字量的表示方法。

2. 预习要求

- (1) 复习传送、移位指令的操作功能；
- (2) 复习解码、编码指令的操作功能；
- (3) 写出本次实验中梯形图所对应的指令语句；
- (4) 分析梯形图并填写表格中的内容。

3. 实验设备及器材

- (1) FX 系列 PLC 一台；
- (2) 手持式编程器一台；
- (3) 编程电缆。

4. 实验内容和步骤

(1) 数据传送指令实验。图 9.26 所示为采用传送指令编程的梯形图。在图 9.26 中 X30～X33 为梯形图中各个梯级的执行条件，分别改变 K1X0、K1X10、K1X20 的状态，在满足执行条件时观察输出端 Y 的状态变化情况，并将输入信号 X 和输出端 Y 的变化情况填入数据表格（自行设计表格），分析 MOV、BMOV 和 FMOV 传送指令的操作功能。

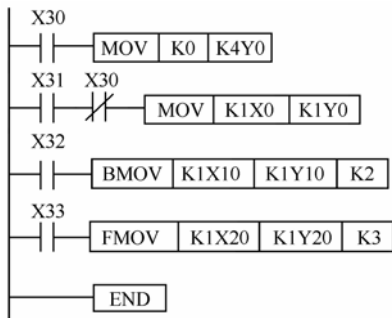


图 9.26 传送指令编程梯形图

(2) 移位指令实验。图 9.27 所示为左移位指令的使用练习一，表 9.4 为实验数据表格。图 9.27 中 X10 为执行条件，当 X10 为 ON 时，电路以 1s 速度进行数据左移位操作。

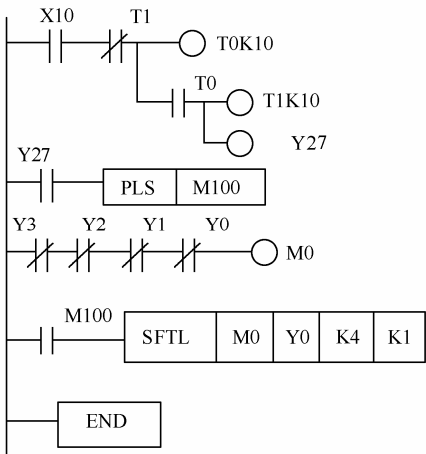


图 9.27 左移位指令使用练习一

表 9.4 实验数据

移位脉冲 T0	输出 Y 的状态			
	Y3	Y2	Y1	Y0
0				
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				

图 9.28 所示为左移位指令的使用练习二，表 9.5 为实验数据表格。图 9.28 中 X10 为执行条件，当 X10 为 ON 时，电路以 1s 速度进行数据左移位操作。

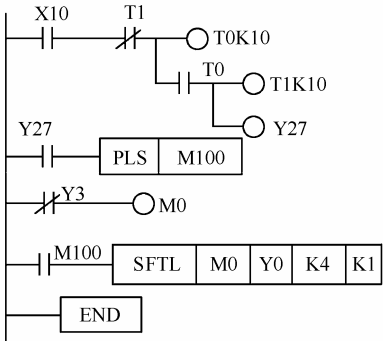


图 9.28 左移位指令使用练习二



表 9.5 实验数据

移位脉冲 T0	输出 Y 的状态			
	Y3	Y2	Y1	Y0
0				
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				

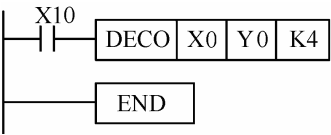


图 9.29 解码指令的使用练习

实验步骤：正确输入程序后，运行程序；手动操作输入信号 X10 为 ON，观察 Y0～Y3 的输出；将结果填入表格中。

（3）解码指令实验。图 9.29 所示为解码指令的使用练习图，表 9.6 为实验数据表格。图 9.29 中 X10 为执行条件。

实验步骤：

- ① 使输入 X0～X3 均为 ON，观察 Y0～Y17 的输出；
- ② 改变输入的数据（X0～X3 的状态），观察 Y0～Y17 的状态变化，并将结果填入表 9.6。

表 9.6 实验数据表

X 的状态（X10=ON）				输出 Y 的状态			
X3	X2	X1	X0	Y17～Y14	Y13～Y10	Y7～Y4	Y3～Y0

（4）编码指令实验。图 9.30 所示为编码指令的练习图，表 9.7 为实验数据表格。图 9.30 中，X30 为编码指令的执行条件，当 X30=ON 时将 X7～X0 所表示的十进制数转换为二进制数码，由 K1Y0 输出；X31=ON 时数据寄存器 D10 的数据为零，K1Y0 中的数据也为零。

实验步骤：

- ① 正确输入程序后，首先操作 X31=ON，使 K1Y0 中的数据全部为 0；再使 X31=OFF、X30=ON，观察 Y0～Y3 中数据的变化。
- ② 改变输入的数据（X7～X0 的状态），观察 Y3～Y0 的输出并将结果填入表中。

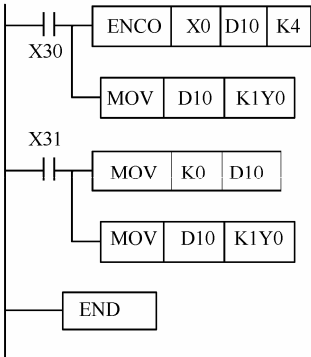


图 9.30 编码指令的使用练习

表 9.7 实验数据表

十进制数	输入 X 的状态 (X30=ON)								输出 Y 的状态			
	X7	X6	X5	X4	X3	X2	X1	X0	Y3	Y2	Y1	Y0
0												
1												
2												
3												
4												
5												
6												
	X31=ON											

5. 选做内容

(1) 图 9.31 所示为选做实验的梯形图，参考实验 (2) 的实验步骤及实验数据表格的形式，完成实验。

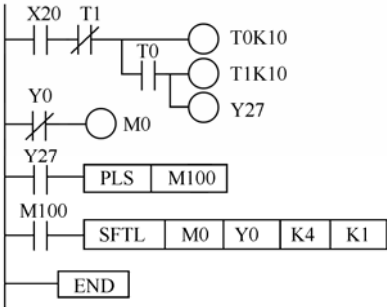


图 9.31 选做实验的梯形图（移位指令的应用）

(2) 参考图 9.31 所示的位左移指令（SFTL）应用梯形图，试画出位右移指令（SFTR）应用梯形图并完成实验。



6. 实验报告要求

- (1) 整理实验操作结果（表格内容）；
- (2) 总结实验中所用指令的使用方法。

9.8 加 1、减 1 和交替输出指令实验

1. 实验目的

- (1) 掌握加 1、减 1 指令的操作功能；
- (2) 掌握交替输出指令的基本使用方法。

2. 预习要求

- (1) 复习加 1、减 1 指令的操作功能；
- (2) 复习交替输出指令的操作功能及使用方法；
- (3) 写出本次实验中梯形图所对应的指令语句；
- (4) 分析梯形图并画出相对应的时序波形图。

3. 实验设备及器材

- (1) FX 系列 PLC 一台；
- (2) 手持式编程器一台；
- (3) 编程电缆。

4. 实验内容和步骤

(1) 加 1、减 1 指令的使用。图 9.32 所示为加 1、减 1 指令使用练习的梯形图，图中用 X0 将原始数据 K0 送到数据寄存器 D0，进行清零，由 Y3~Y0 可以观察出 D0 中的数据。X10 为加 1 运算的执行条件，X10 由 OFF 到 ON 每变化一次，进行加 1 运算一次，由 Y3~Y0 可以观察到加 1 运算的数据变化。X11 为减 1 运算的执行条件。采用比较指令将加 1 和减 1 运算中 K1Y0 中的数据和 K6 进行比较。

实验步骤：

- ① 首先使 X0=ON，D0 清零，使 K1Y0 中的数据为 0。
- ② 再使 X0=OFF，操作 X10 进行加 1 操作，X10 由 OFF 到 ON 每变化一次，进行一次加 1 运算，并观察输出端 Y0~Y3 的状态变化情况。
- ③ 利用 X11 用同样的方法进行减 1 操作，观察输出端 Y0~Y3 的状态变化情况。
- ④ 观察比较指令执行的结果，即 Y10~Y12 的状态变化情况，并在图 9.32 中补充画出其对应的时序波形图，检验程序的正确性。

(2) 交替输出指令的使用。图 9.33 所示为交替输出指令练习梯形图一，图中 X10 为 ON 时，在 M0 的上升沿，Y0 和 Y1 的状态变化频率相同，但状态完全相反，即交替输出。

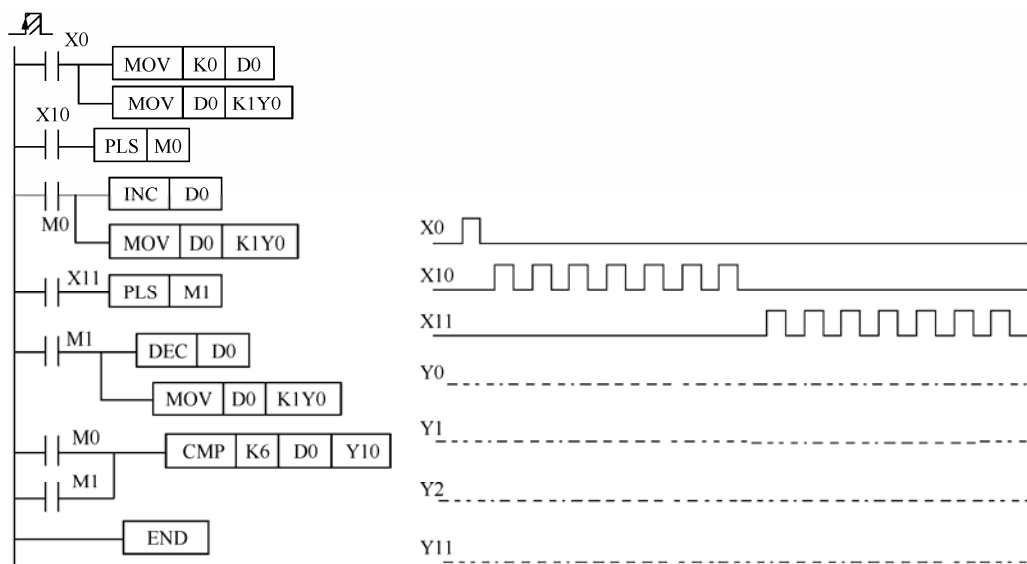


图 9.32 加 1、减 1 指令使用练习梯形图

实验步骤：正确输入程序后，操作 PLC 运行程序，观察 PLC 的输出端 Y0、Y1 的状态，学习交替输出指令的操作功能，检验程序的正确性，同时画出 Y0 和 Y1 的时序波形图。

图 9.34 所示为交替输出指令使用练习梯形图二，图中由 T0、T1 控制 Y0 的 OFF/ON 时间间隔，Y0 为 OFF 的时间为 2s，为 ON 的时间为 4s，输出 6s 周期的方波信号。Y10 在 Y0 的上升沿交替输出，Y20 在 Y10 的上升沿交替输出。

实验步骤：正确输入程序后，操作 PLC 运行程序，手动操作 X0=ON，观察 PLC 的输出端 Y0、Y10、Y20 的状态，学习交替输出指令的操作功能，检验程序的正确性，同时画出相应的时序波形图。

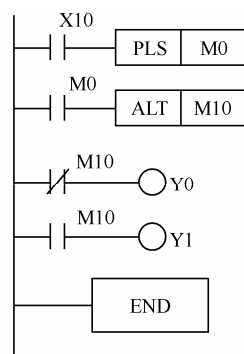


图 9.33 交替输出指令练习梯形图一

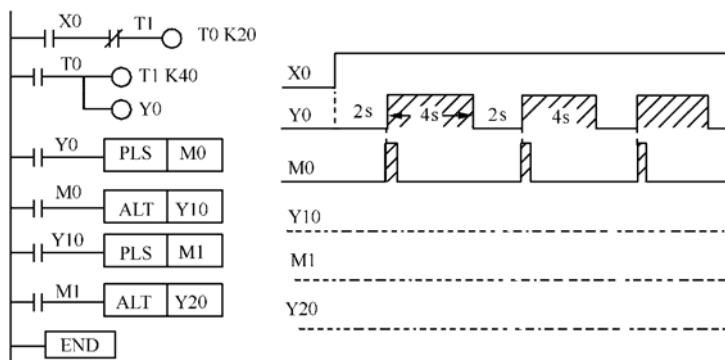


图 9.34 交替输出指令使用练习梯形图二



5. 实验报告要求

- (1) 整理实验操作结果（时序波形图）；
- (2) 总结实验中所用指令的使用方法。

6. 选做内容

采用加 1、减 1 指令和比较指令，设计一个简单的汽车场显示装置控制程序。假设停车场的最大容量为 50 辆，进入一辆汽车时，控制显示器的数据加 1；开出一辆汽车时，控制显示器的数据减 1。在显示数据小于 50 时，点亮绿灯允许汽车进入，并通过 PLC 的一个端口输出信号，表示有停车的空位。当显示数据等于 50 时，点亮红灯禁止汽车进入。

9.9 功能指令应用实验

1. 实验目的

- (1) 掌握功能指令的应用方法；
- (2) 学习简单控制程序的设计方法；
- (3) 掌握控制程序的调试方法。

2. 预习要求

- (1) 分析实验中梯形图的工作原理；
- (2) 写出梯形图所对应的指令语句；
- (3) 准备选做内容的控制程序。

3. 实验设备及器材

- (1) FX 系列 PLC 一台；
- (2) 手持式编程器一台；
- (3) 编程电缆；
- (4) 模拟电路板一块（彩灯模拟电路板）；
- (5) 连接导线。

4. 实验内容和步骤

(1) 四则运算实验。图 9.35 所示为四则运算程序梯形图，此程序可以实现“ $[(20 \times X)/2] + 3$ ”的运算，式中 X 为输入 $K2X0$ 送入的二进制数，运算的结果送到输出 $K2Y0$ ， $X20$ 为执行条件。

实验步骤：正确输入程序后，操作 PLC 运行程序；改变式中的 X 值，观察 PLC 输出端的状态；将四则运算的结果填入表格（自行设计表格）。

(2) 彩灯循环控制实验。图 9.36 所示为彩灯循环控制程序梯形图，图中采用 4s 时钟发生器和 MOV 指令实现控制， $X0$ 为启动开关，8 个彩灯分别连接在输出端 $Y7 \sim Y0$ ，可以实



现隔灯显示，每 2s 交换一次，反复运行。K85 和 K170 在 PLC 内部是两组状态（0、1）完全相反的二进制数码，所以可以实现隔灯显示的功能。

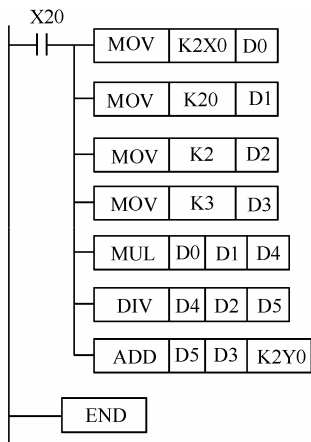


图 9.35 四则运算程序梯形图

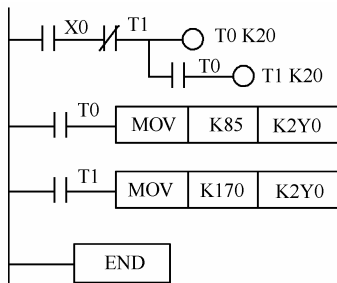


图 9.36 彩灯循环控制程序梯形图

实验步骤：

- ① 使 X0=ON，观察输出端彩灯（Y0~Y7）的状态变化。
 - ② 改变彩灯的点亮频率（改变 T0 和 T1 的延时时间），观察输出端彩灯（Y0~Y7）的变化；通过实验，分析梯形图的工作原理，总结功能指令的使用方法。
 - （3）多谐振荡电路实验。图 9.37 所示为多谐振荡程序梯形图，图中振荡电路的频率可以设定，在 X30 为 ON 时，将 K2X0 的数值设置为振荡器的频率值。X10 为振荡器的启动开关。
- 实验步骤：正确输入程序后，操作 PLC 运行程序；观察 PLC 的输出端的状态；手动改变输入信号 X0~X3 的状态，设置振荡频率值，观察输出 Y0 状态的变化；记录参数及时序波形图。

5. 选做内容

（1）图 9.38 所示为乘法指令的程序梯形图，该梯形图可以实现按照一定的频率执行乘法运算，实现控制 K4Y0 的状态。首先使 X30=ON，观察 K4Y0 的变化；在此基础上，试在程序中加入指令语句：

```
LD Y17
PLS M11
LD M11
MOV K0 K4Y0
```

再观察 K4Y0 的变化，分析所加入指令语句的操作功能。

（2）图 9.39 所示为除法指令的使用练习图。X30 为该梯形图的启动信号，当 X30 为 ON 时，观察 Y27、Y17 及 K4Y0 的变化，试分析该梯形图的工作原理。

6. 实验报告要求

- （1）分析实验所用梯形图的工作原理；

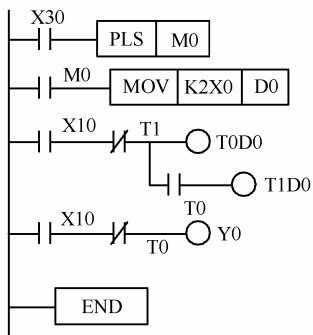


图 9.37 多谐振荡程序梯形图

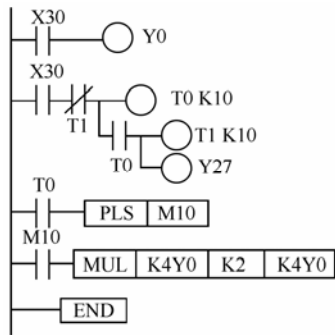


图 9.38 乘法指令的程序梯形图

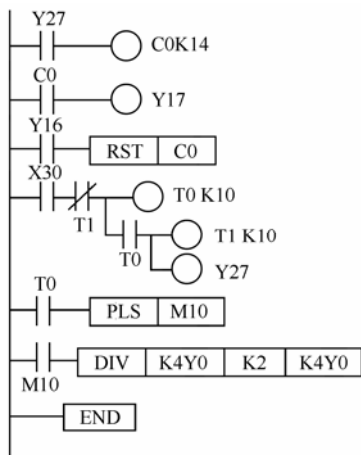


图 9.39 除法指令的应用

- (2) 总结实验中功能指令的使用方法;
- (3) 总结验证、调试程序的方法。

9.10 简单控制程序应用实验

1. 实验目的

- (1) 学习简单控制程序的编程方法;
- (2) 掌握简单控制程序的调试方法;
- (3) 训练用 PLC 解决实际控制问题的能力。

2. 预习要求

- (1) 复习采用经验法和顺序功能图的编程方式;
 - (2) 将本次实验的题目, 按作业的形式预先完成理论设计 (功能图、梯形图及指令语句)。
- 在实验中进行程序的调试、修改和优化。



3. 实验设备及器材

- (1) FX 系列 PLC 一台;
- (2) 手持式编程器一台;
- (3) 编程电缆;
- (4) 模拟硬件电路板;
- (5) 连接导线。

4. 实验内容和步骤

(1) 经验设计法编程练习。

① 采用经验法设计满足图 9.40 所示的时序波形图的控制程序。

② 图 9.41 所示为计数器应用时序波形图，要求在 X0 为 ON 时，Y0 变为 ON 且自保；T0 定时 7s 后，用 C0 对 X1 输入的脉冲计数，计满 4 个脉冲后，Y0 变为 OFF，同时 C0 和 T0 复位，在 PLC 刚开始执行用户程序时，C0 也被复位。

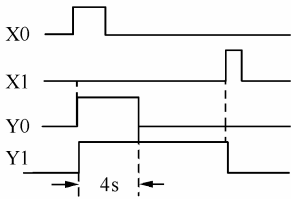


图 9.40 时序波形图

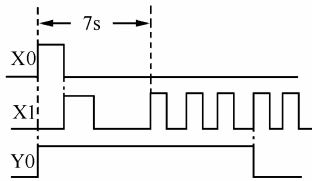


图 9.41 计数器应用

(2) 顺序功能图编程练习。

① 要求对 3 台电动机 KM1、KM2、KM3 实现启动和停止控制。按下启动按钮后，要求 3 台电动机按照 KM1、KM2、KM3 的顺序间隔 2s 启动；停止时要求按照 KM3、KM2、KM1 的顺序间隔 5s 停止。

② 某液压动力滑台的运动控制示意图如图 9.42 所示。动力滑台在初始位置时停在最左边（原位），行程开关 X0 为 ON。按下起动按钮后动力滑台的进给运动如图 9.42 表中所示。试编程控制动力滑台运动。

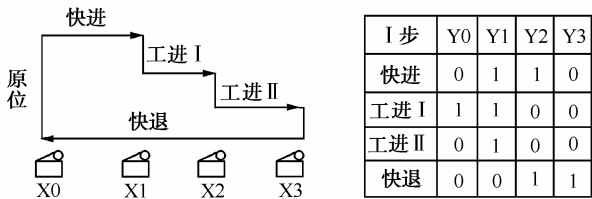


图 9.42 液压动力滑台的进给运动

(3) 功能指令编程练习。

① 彩灯点亮控制。用 X10 控制 16 个彩灯循环点亮，点亮时间为 2s。初始状态第一个彩灯为点亮状态。

② 用 X0 给计数器输入计数脉冲信号，X10 给计数器复位；将计数器的当前值转换为



BCD 码后，送入 Y0~Y7 中。

实验要求及步骤：根据实际情况，在（1）、（2）、（3）项练习中各选择一题练习。正确输入程序后，操作 PLC 运行程序，手动操作输入信号，观察 PLC 输出端的变化，调试并检验程序。

5. 选做内容

（1）交通灯控制程序。图 9.43 所示为某交通灯控制时序波形图。当 X4 为 ON 时，Y0（红）、Y1（绿）、Y2（黄）按照时序波形图的要求变化。

（2）图 9.44 所示为某抽水式的蓄水塔工作示意图，其控制要求为：

- ① 若液位传感器 SL1 检测到蓄水池有水，并且 SL2 检测到水塔未达到满水位时，抽水泵电动机运行，抽水至水塔；
 - ② 若 SL1 检测到蓄水池无水，泵电动机停止运行，同时蓄水池无水指示灯点亮；
 - ③ 若 SL3 检测到水塔水位低于下限时，水塔无水指示灯点亮，继续抽水；
 - ④ 若 SL2 检测到水塔满水位（高于上限）时，点亮水位高指示灯，泵电动机停止运行。
- 要求设计、调试控制程序。

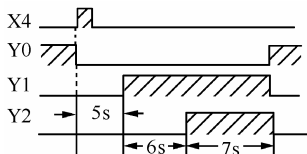


图 9.43 交通灯控制时序波形图

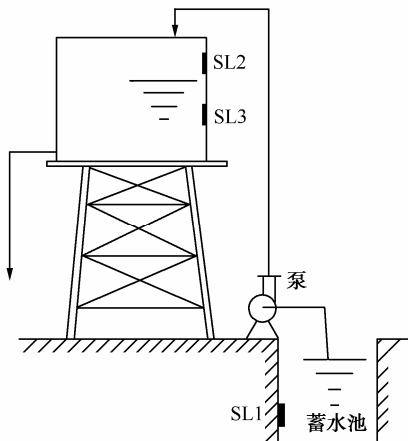


图 9.44 自动抽水蓄水塔工作示意图

6. 实验报告要求

- （1）整理实验程序；
- （2）总结调试程序中出现的问題以及解决的方法。

通过 PLC 的实训教学环节, 可使学生加深理解所学的理论知识, 了解 PLC 的功能和应用范围, 掌握 PLC I/O 单元的使用, 熟悉 PLC 控制系统的组成、设计步骤和方法, 熟悉 PLC 的指令系统, 能综合运用所学理论知识编制、调试简单的程序, 独立地分析处理调试程序中遇到的一些问题。

本章设置了难易程度、复杂程度不同的内容, 以兼顾不同层次学生的需求。可以根据题目的难易、复杂程度定出系数, 以便于教师评定分数, 同时也有利于提高学生学习的积极性。

10.1 PLC实训教学的要求

10.1.1 PLC实训的任务和要求

(1) 学生在老师的指导下, 根据任务书下达的控制要求, 独立完成一项运用可编程控制器实现控制的程序设计工作, 并完成调试工作, 受到一次程序设计、调试的基本训练。

(2) 学生应根据自己承担的具体课题, 积极发挥主观能动性, 自觉地寻找资料, 寻求指导, 在不断研究问题的过程中, 培养通过自学而扩展知识的能力。要求学生必须独立完成自己的课题。

学生通过 PLC 实训教学应完成的任务如表 10.1 所示。

表 10.1 PLC 实训教学应完成的任务

序 号	内 容	备 注
1	某工程设计说明	张
2	某工程控制系统原理图	张
3	某工程控制系统流程图	张
4	PLC 的 I/O 元件的接线图	张
5	控制系统 PLC 的功能图及梯形图	张
6	控制系统 PLC 指令语句表	(已上机通过)
7	课题设计说明书	



10.1.2 课题的设计方法与步骤

课题的设计分为以下5个阶段。

第一阶段：研究任务书、补充讲课、收集资料

（1）学生研究设计任务书：首先要清楚总体的设计方案，以及完成的方法、步骤、时间等，注意了解自己承担课题的具体要求。

（2）教师补充讲授内容：控制系统的工艺流程、控制方案的确定方法、自动化设备的基本构成原理、控制用电器的类型及选择原则。

（3）查阅资料：工艺系统图及工艺流程图、有关的参数表、有关的自动化仪表及电气设备的产品样本。

第二阶段：确定设计方案、绘制设计草图

（1）确定个人设计方案；

（2）根据工艺系统及工程的具体情况，确定控制方案；

（3）绘制工艺流程图。

第三阶段：确定PLC的I/O点，设计功能图及梯形图，上机调试程序

（1）认真分析工艺过程及控制要求（动作顺序、动作条件、必要的保护和连锁，手动及自动工作方式）；

（2）根据控制要求及用户的设备确定PLC的I/O点数；

（3）根据工艺要求、现场条件及I/O点数等确定PLC的机型；

（4）I/O接线图的设计及硬件电路元器件的选择；

（5）进行PLC程序的设计及调试；

（6）连接输入信号的模拟装置，对程序进行调试和修改，直至满足要求为止；

（7）将PLC和外部的负载连接，实现带负载运行程序，进行软、硬件的调整，以满足控制要求。

第四阶段：根据个人设计的方案绘制正式图纸并编制文件

根据设计的方案绘制出正式的图纸，进行文件编制。

第五阶段：完成实训报告

实训报告应包括以下内容：

（1）简要说明自己所承担的任务、课题及实施的方法、步骤；

（2）设计内容及设计方案总体介绍；

（3）根据自己的具体课题做出方案比较及经济分析；

（4）总结在设计中所遇到的问题及解决的方法（本次设计中的收获、体会）。



10.1.3 实训课题的确定

为了保证 PLC 实训教学的效果,满足不同层次学生对实践训练的需求,一个班的 PLC 课程实训可设定 8~10 个题目,其难易程度、复杂程度应有所不同。

参加实训的学生应根据自己的能力,选择自己能够独立完成的课题,也可以由教师帮助指定课题。

10.2 电子产品自动控制课题

10.2.1 自动洗衣机控制

自动洗衣机内设置有高水位和低水位的开关量检测传感器,控制面板上设置有起动开关、停止开关、定时器及自动洗衣的方式设定触摸按键等。自动洗衣的过程有:洗涤、清洗和脱水。自动洗衣的全过程包括:起动、进水、洗涤、排水、脱水等,其中洗涤 3 次,清洗 2 次,每次排水后均进行脱水。设计满足下面要求的控制程序。

1. 控制要求

- (1) 按下起动按钮后,进水阀闭合进水,直到高水位开关闭合后结束;
- (2) 首先进行正向洗涤(闭合电机正向接触器),洗涤 15s 后暂停;
- (3) 暂停 3s 后,进行反向洗涤(闭合电机反向接触器),洗涤 15s 后暂停;
- (4) 暂停 3s 后,完成一次洗涤过程;
- (5) 再返回进行从正向洗涤开始的全部动作,连续重复 3 次后结束;
- (6) 开排水阀进行排水;
- (7) 排水一直进行到低水位开关断开后,进行脱水(闭合脱水电机接触器);
- (8) 脱水动作(10s)结束后,又返回执行从进水开始的全部动作,连续重复全部动作 2 次;
- (9) 最后进行洗完报警,报警 10s 后自动停止。

2. 附加控制要求

- (1) 可以设置洗衣机的自动起动时间,每日 24 小时的某个时刻均可以设定;
- (2) 有两种工作方式可供选择:全自动和半自动方式。全自动工作方式如“控制要求”中所述。半自动工作方式为:手动进水,任意选定操作洗衣的某个过程,每次不必执行清洗、洗涤和脱水 3 个过程,任意选择洗衣的时间和脱水的时间。
- (3) 洗涤作用强弱的控制。可以任意选择洗涤作用的强弱,设置选择按钮,通过控制洗衣机中电动机的转速来实现。

3. 实训内容及要求

- (1) 电动机的主电路设计,PLC 的 I/O 接线图及洗衣机的控制面板设计。



- (2) 程序梯形图的设计及调试。
- (3) 连接外部负载（微电机、数字显示器件等）调试程序。
- (4) 总结调试故障的诊断及处理方法。

10.2.2 自动售货机控制

某台自动售货机可以销售汽水、咖啡、纯净水、口香糖。具有硬币识别、币值累加、自动售货、自动找钱等功能。此售货机可以接受的硬币为 0.1 元、0.5 元和 1 元。汽水的价格为 1.2 元，咖啡的价格为 1.5 元，纯净水的价格为 1 元，口香糖的价格为 0.5 元。设计满足下面要求的控制程序。

1. 售货机的功能

- (1) 当硬币的总价值超过 1.2 元时，汽水指示灯点亮，当硬币的总价值超过 1.5 元时，汽水和咖啡的指示灯亮。
- (2) 当汽水指示灯点亮时，购物者按“汽水”按钮，汽水从售货口自动售出，汽水指示灯闪烁（周期为 1s）。
- (3) 当咖啡指示灯点亮时，购物者按下“咖啡”按钮，自动售出咖啡，咖啡指示灯闪烁（周期为 1s）。
- (4) 售出纯净水和口香糖的过程与（2）和（3）的描述相同。

2. 控制要求

- (1) 如果售货机出现故障，或顾客投入硬币后又不想买了，可以按下复位按钮，则售货机自动退回顾客投入的硬币，但只能在顾客未按下取商品按钮之前，此项操作才有效。
 - (2) 具有销售数量和销售金额的累计功能。
- 根据实训的实际情况还可增设以下设计内容：
- ① 要求同时采用步控指令或经验设计法完成程序设计。
 - ② 售货机具有报警提示功能，如售货机内需加货时报警，售货机内无此货时在报警的同时，还可以自动锁住选货的按钮并退出硬币。

3. 实训内容及要求

- (1) PLC 的 I/O 接线图设计，自动售货机的控制面板设计。
- (2) 程序梯形图设计及调试。
- (3) 连接外部负载调试程序。
- (4) 总结调试故障的诊断及处理方法。

10.2.3 抢答器控制

智力抢答器的设计原则为：可以根据参赛的具体情况设定时间，能够用声光信号表示竞赛的状态，采用数字显示器件显示参赛者的得分情况。本设计要求设有 3 组，即 3 个抢答按



钮，最先按下按钮的有效，同时伴有声光指示。在规定的时间内答题正确时加分，否则减分。具体的控制要求如下。

1. 控制要求

- (1) 竞赛开始时，主持人闭合起动按钮 SB，指示灯 LED1 点亮。
- (2) 当主持人按下开始抢答按钮 SB0 后，计时开始，10s 内无人抢答，控制发出持续 2s 的声音，指示灯 LED2 点亮，表示抢答自动撤销。
- (3) 当主持人按下开始抢答按钮 SA0 后，如果在 10s 内有人按下抢答按钮（SB3、SB4、SB5），则最先按下的信号有效，相应抢答桌面上的抢答灯点亮（HL3、HL4、LH5），赛场音响发出短促的声音（0.2s 周期）。
- (4) 当主持人确认抢答有效后，按下答题时间计时按钮，开始计时，当计时时间到时（假设 5s），赛场的音响发出持续 3s 的长音，抢答器桌上的抢答灯再次点亮。
- (5) 如果抢答者在规定的时间内回答问题正确，主持人按下加分按钮，实现自动加分，同时抢答桌上的指示灯快速闪烁（周期为 0.3s）。
- (6) 如果抢答者在规定的时间内不能正确地回答问题，主持人按下减分按钮，自动实现减分。

本设计题目可根据实际实训的情况增加设计内容，例如采用数码管显示加、减分的数字显示。

2. 实训内容及要求

- (1) PLC 的 I/O 接线图设计，抢答器的控制面板设计。
- (2) 程序梯形图设计及调试。
- (3) 抢答器控制系统的调试。
- (4) 总结调试故障的诊断及处理方法。

10.3 生产线自动控制课题

10.3.1 机床动力头自动控制

图 10.1 所示为某组合机床的动力头动作原理示意图，图中动力头由电机 KM 驱动。在动力头运动的行程中，设置有 4 个限位开关，分别为原位限位开关 A，1 号位、2 号位和 3 号位限位开关。动力头可以前进、后退。

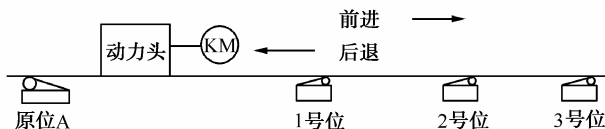


图 10.1 动力头动作原理示意图



1. 控制要求

(1) 第一种工作方式。动力头首先由原位出发，运行到 1 号位后，立即后退返回原位，然后再由原位前进到 2 号位再后退返回，接着运行到 3 号位，再返回原位，一直运行下去。

(2) 第二种工作方式。仍旧按照第一种工作方式的顺序运行，但是要求控制动力头到达某工位的次数不同。启动后由原位出发先到达 1 号位，连续执行 3 次后，返回原位；接着从原位出发，直接到达 2 号位，连续执行 2 次后，返回原位；再由原位出发直接到达 3 号位一次，返回原位。

(3) 起动操作。当按下起动按钮时，动力头按照工作方式的选择，进入某一种工作的连续循环运行状态，一直运行到按下停止按钮。

(4) 停止操作。当按下停止按钮时，动力头要运行到当前工作方式中的最后一步，才能停止工作并返回原位，等待下一次起动。

2. 实训内容及要求

(1) 电动机的主电路设计，PLC 的 I/O 接线图设计。

(2) 程序梯形图设计及调试。

(3) 连接外部负载或模拟电路进行控制功能的调试。

(4) 总结调试故障的诊断及处理方法。

10.3.2 大、小球分检控制

图 10.2 所示为某生产线的大、小球分检自动装置示意图。分检装置自动工作过程的顺序如下所述。

1. 工作过程顺序

(1) 当分检装置处于起始位置时，原位指示点亮，此时上限位开关 LS3 和左限位开关 LS1 被压下闭合，极限开关 SW 断开。

(2) 起动装置后，操作杆下行，一直可以下行到极限开关 SW 闭合；在下行的过程中，若碰到的是大球，则下限位开关 LS2 一直为断开状态，而极限开关 SW 为闭合状态；若碰到的是小球，则下限位开关 LS2 为闭合状态，极限开关 SW 为断开状态。

(3) 接通控制吸盘的电磁阀线圈。

(4) 假设吸盘吸起的是小球，则操作杆上行，碰到上限位开关 LS3。

(5) 操作杆右行，碰到右限位开关 1（LS4 小球的右限位开关）。

(6) 下行到下限位开关 LS2 闭合后，将小球释放到小球箱里，然后返回到原位。

(7) 如果起动装置后，操作杆下行一直到 SW 闭合后，下限位开关 LS2 仍为断开状态，则吸盘吸起的是大球；操作杆上行后再右行，碰到右限位开关 2（LS5 大球的右限位开关）后，将大球释放到大球箱里，之后返回到原位，点亮原位指示，如此周而复始循环工作。

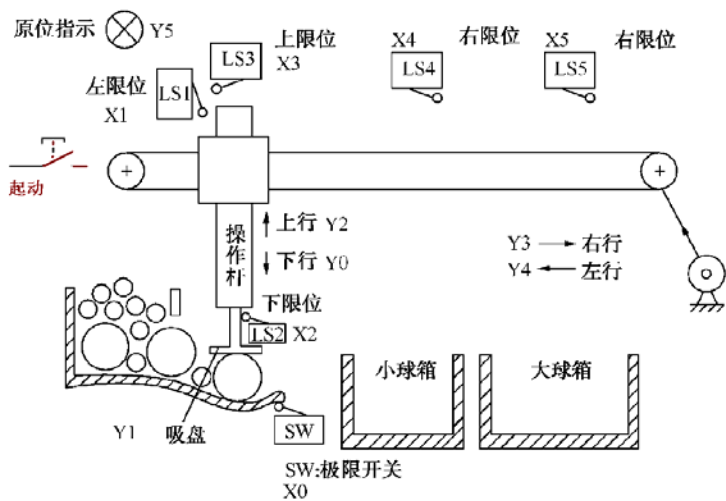


图 10.2 大、小球自动分检装置示意图

2. I/O地址分配

本实训课题的 I/O 地址分配如表 10.2 所示。

表 10.2 I/O 地址分配

输 入 信 号		输 出 信 号	
起动按钮	X10	下行	Y0
极限开关	X0	吸盘	Y1
左限位开关	X1	上行	Y2
下限位开关	X2	右行	Y3
上限位开关	X3	左行	Y4
右限位开关 1	X4	原位指示	Y5
右限位开关 2	X5		

可根据实际实训的情况增加以下设计内容：

- (1) 加入检测吸盘工作是否正常的硬件装置和软件程序。
- (2) 实现累计被检出的小球、大球的数量。
- (3) 用数码管显示被检出的小球、大球的数量。

3. 实训内容及要求

- (1) 电动机的主电路设计，PLC 的 I/O 接线图及系统的控制面板图设计。
- (2) 程序梯形图设计及调试。
- (3) 连接外部负载或模拟电路进行控制功能的调试。
- (4) 总结调试故障的诊断及处理方法。



10.3.3 皮带运输机控制

图 10.3 所示为原料皮带运输机传输系统示意图,图中由 3 台电动机驱动 3 个皮带运输机,3 台电动机分别由交流接触器 KM1、KM2、KM3 控制。皮带运输机的控制方式如下所述。

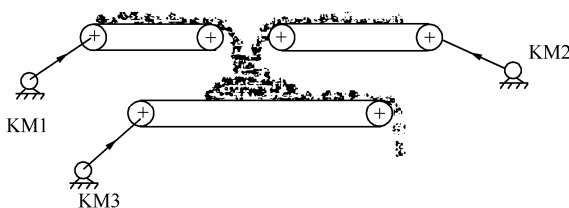


图 10.3 皮带运输机传输系统

1. 皮带运输机的 3 种控制方式

(1) 第一种工作方式: KM1 和 KM3 同时工作方式。起动后 KM3 首先运行,延时 10s 后, KM1 再投入运行,停止时 KM1 首先停止运行,10s 后 KM3 停止运行。

(2) 第二种工作方式: KM1、KM2 和 KM3 全部工作方式。起动时 KM3 首先运行,延时 10s 后, KM1、KM2 再投入运行。

(3) 第三种工作方式: KM1、KM2 和 KM3 全部工作方式。起动时 KM3 首先运行,延时 10s 后, KM1 投入运行, KM1 运行 5s, KM2 再投入运行。KM1 和 KM3 一直通电运行, KM2 间隔 5s 工作(运行 5s, 停止 5s), 停止时 KM3 首先停止运行, 延时 10s 后 KM1、KM2 再停止运行。

2. 故障停车控制方式

在 KM1 和 KM3 同时工作方式下,若 KM3 出现故障, KM1 和 KM3 立即停止运行,若 KM1 出现故障, KM1 立即停止运行, KM3 延时 10s 后停止工作。

在 KM1、KM2 和 KM3 同时工作方式下,若 KM1 或 KM2 出现故障, KM1、KM2 立即停止工作, KM3 延时 10s 后停止运行。若 KM3 出现故障, KM1、KM2、KM3 立即同时停止工作。

3. 实训内容及要求

- (1) 电动机的主电路设计, PLC 的 I/O 接线图设计。
- (2) 程序梯形图设计及调试。
- (3) 连接外部负载或模拟电路进行控制功能的调试。
- (4) 总结调试故障的诊断及处理方法。

10.3.4 双料斗皮带运输机控制

1. 控制要求

图 10.4 所示为双料斗皮带运输机传输系统示意图。图中由交流接触器 KM3~KM5 控制



3 个电动机，交流接触器 KM1 和 KM2 分别控制料斗的底门。要求设计满足下述控制要求的 PLC 程序。

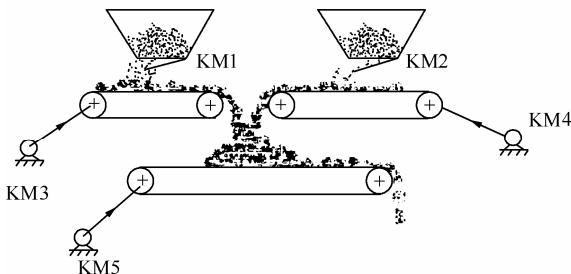


图 10.4 双料斗皮带传输机传输系统

(1) 工作方式。根据配料比例的要求，KM2 间断工作。起动后，KM2 打开 5s，关闭 5s，间断工作。KM1、KM3、KM4、KM5 为连续运行状态。通过外部开关可以选择设置 KM2 的间断工作时间分别为 5s、10s、15s。

(2) 起动操作方式。该设备遵循下面的顺序启动：KM5 首先工作，延时 5s 后，KM3 和 KM4 投入工作；再延时 5s 后，KM1 和 KM2 开始工作。

(3) 停止操作方式。该设备遵循下面的顺序停止：首先 KM1 和 KM2 停止工作，延时 5s 后，KM3 和 KM4 停止工作，再延时 5s 后，KM5 停止工作。

(4) 故障停车方式。

① 若 KM1 或 KM2 出现故障，KM1、KM2 立即关闭，延时 5s 后，KM3、KM4 停止运行，再延时 5s 后，KM5 停止运行。

② 若 KM3 或 KM4 出现故障，KM1、KM2 和 KM3、KM4 立即停止工作，KM5 延时 5s 后停止工作。

③ 若 KM5 出现故障，KM1、KM2、KM3、KM4、KM5 立即停止工作。

2. 实训内容及要求

(1) 电动机的主电路设计，PLC 的 I/O 接线图设计。

(2) 程序梯形图设计及调试。

(3) 连接外部负载或模拟电路进行控制功能的调试。

(4) 总结调试故障的诊断及处理方法。

10.3.5 药片自动装瓶机控制

1. 控制要求

图 10.5 所示为药片自动装瓶机原理示意图，图中 Y10 为漏斗的控制开关；X0 为光电传感器，用于检测进入瓶内的药片；Y11 为驱动传送带的电机。选择按钮 X1、X2 和 X3 用于设定药片装瓶的数量，假设 X1 闭合药片数选择为 20，X2、X3 分别表示为 30、50 片。药片自动装瓶机的工作方式如下所述。

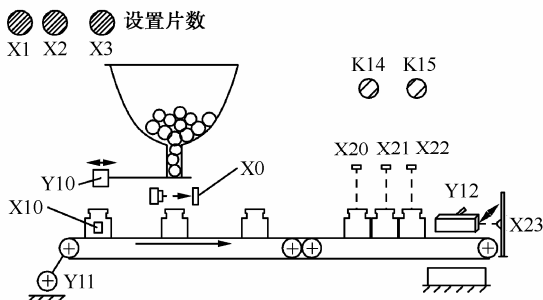


图 10.5 药片自动装瓶机示意图

（1）工作方式一。

① 起动后传输带运行，5s 后药瓶到达装药片的位置，传输带停止，漏斗控制开关 Y10 打开，开始装瓶，同时光电开关 X0 检测进入瓶内的药片，当药片装够数量后，立即关闭 Y10 并起动 Y11 传输带运行，5s 后传输带再次停止，又开始装药片，……，如此循环工作下去。

② 通过手动操作“设置药片装瓶的片数”按钮开关，设置需要装入瓶内的片数。

③ 在装药的过程中，若按下系统停止开关时，系统要在当前药瓶装满后，才能停止工作。

（2）工作方式二。在上面工作方式一的基础上，设置光电传感器 X20、X21、X22、X23，用于检测药瓶数及包装箱数，X14、X15 为每箱的药瓶数设置按钮。增加的控制要求如下：

① 设置检测药瓶状态的光电元件 X10，用于实现系统在工作时，首先检测左边第一个瓶子的状态，当出现问题（瓶子倒了或未到位）时，在前一个瓶子装药完毕后立即停车。

② 实现手动设置药瓶包装数，可以选择设置 3 瓶或 5 瓶包装在一起。按手动设定的包装数，完成包装工作后，推板 Y12 动作，进行装箱。

③ 装完 5 箱后，点亮指示灯，并返回初始状态。

可根据实际实训的情况增加以下设计内容：

- a. 具有记录、显示日产量（装药的瓶数或药瓶包装箱数）的功能；
- b. 具有当日产量达到规定的数值时，显示工作完成的功能；
- c. 采用数字显示器件显示日产量。

2. 实训内容及要求

（1）药片自动装瓶 PLC 的控制方案原理说明。

（2）PLC 控制系统的硬件电路接线图、I/O 接线图。

（3）PLC 控制程序的设计及调试。

（4）总结调试故障的诊断及处理方法。

10.3.6 水箱液位控制

1. 水箱液位控制要求

图 10.6 为水箱液位控制原理示意图，图中控制对象为 3 个水箱。水箱内侧分别设置有液位传感器 X1、X3、X5，用于检测水箱中水位的“满”；液位传感器 X2、X4、X6 用于检测



水箱水位的“空”；设置3个按钮 X11、X12、X13 操纵水箱进、放水的工作方式。在水箱的水位为“空”时系统可以自动进水，水位为“满”时系统可以自动放水。Y1、Y2、Y3 为进水阀，Y4、Y5、Y6 为出水阀。水箱液位的工作方式如下所述。

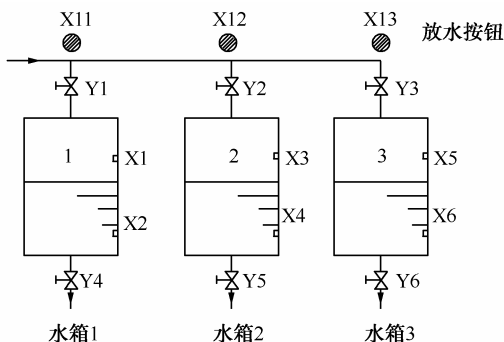


图 10.6 水箱液位工艺流程图

(1) 工作方式一。操作按钮 X11，系统启动后，自动执行水箱 1 进水→水箱 2 进水→水箱 3 进水的顺序，接着进行水箱 1 放水→水箱 2 放水→水箱 3 放水的过程，自动循环工作 3 次后停止运行。

(2) 工作方式二。操作按钮 X12，自动执行 3 个水箱同时进水，全部装满后同时放水。

(3) 工作方式三。操作按钮 X13，自动执行水箱 1 进水、放水 n_1 次→水箱 2 进水、放水 n_2 次→水箱 3 进水、放水 n_3 次的顺序，循环工作 3 次自动停止运行。 n_1 、 n_2 、 n_3 可以设定。建议采用数据传送指令将 n_1 、 n_2 、 n_3 送入数据寄存器，并将其作为计数器的计数常数设定值。

可根据实际实训的情况增加以下设计内容：

设置操作顺序按钮 X11、X12、X13，实现随机选择进、放水的顺序：

① 若操作按钮的顺序为 1→3→2，则按照 1→3→2 的顺序进水，再按照 2→3→1 的顺序放水；

② 若操作按钮的顺序为 3→2→1，则按照 3→2→1 的顺序进水，再按照 1→2→3 的顺序放水。其他随机选择的顺序也是按同样的方式执行。

2. 实训内容及要求

- (1) 水箱液位 PLC 控制方案的原理说明。
- (2) PLC 控制系统的硬件电路接线图、I/O 接线图。
- (3) 程序梯形图、指令语句表及程序的操作功能说明。
- (4) PLC 控制程序的调试。
- (5) 总结调试故障的诊断及处理方法。



10.4 交通类自动控制课题

10.4.1 自动门控制

在自动门的上方设置有光电检测传感器，当有人接近门时，光电传感器输出信号为 ON，控制开门，接着自动关门。开、关门的动作分为高速和低速两种，不论是开门或关门都是首先高速动作，当低速开门和低速关门限位开关闭合后转为低速动作。

1. 控制要求

- (1) 当有人接近门时，光电传感器输出信号使自动门首先高速开门。
- (2) 当低速开门限位开关为 ON 时，自动门转为低速开门。
- (3) 延时 2s 后，高速关门。
- (4) 当低速关门限位开关为 ON 时，转为低速关门。
- (5) 在关门期间，如果光电传感器有输出信号，则立即停止关门动作，且延时 0.5s 后转为高速开门、低速关门的控制顺序。
- (6) 当自动门在开门和关门时，相应的开门、关门的极限开关为 ON 后，立即停止开门和关门动作。
- (7) 自动门装置设置有开门手动按钮，当其闭合时，自动门立即高速打开并保持开门状态，直到按钮复位后，门立即高速关闭。
- (8) 开门手动按钮为 ON 时，相应的指示灯点亮。

2. 实训内容及要求

- (1) 自动门控制系统的原理说明。
- (2) PLC 控制系统的硬件电路接线图、I/O 接线图。
- (3) 程序梯形图、指令语句表及程序的操作功能说明。
- (4) PLC 控制程序的调试。
- (5) 总结调试故障的诊断及处理方法。

10.4.2 交通灯自动控制

1. 交通灯自动控制要求

图 10.7 所示为交通灯自动控制示意图和时序图，这是一个十字路口交通指挥灯的管理系统。具体的控制要求为：设置一个工作起动开关 K0，当其闭合时信号灯系统按照图中所示的时序循环运行，当 K0 断开时信号灯全部熄灭。

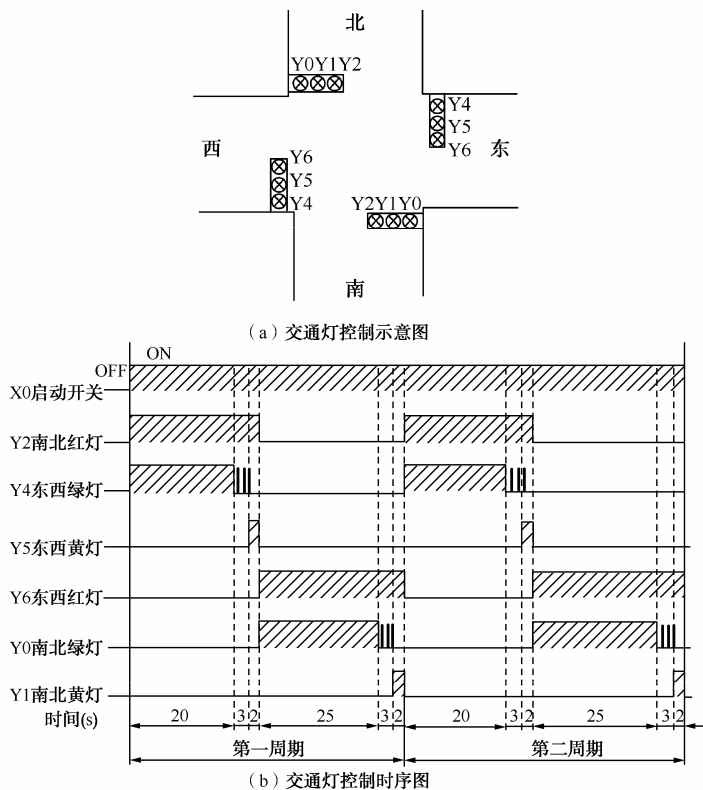


图 10.7 交通灯自动控制示意图和时序图

2. 实训内容及要求

- (1) 交通灯的 PLC 控制原理说明。
- (2) PLC 控制系统的硬件电路接线图、I/O 接线图。
- (3) 程序梯形图、指令语句表及程序的操作功能说明。
- (4) PLC 控制程序及交通灯控制系统的调试。
- (5) 总结调试故障的诊断及处理方法。

10.4.3 隧道内汽车双向行驶控制

某地下隧道仅能通过一辆汽车，隧道的南道口简称为 A 口，北道口简称为 B 口。车辆的行驶速度严格规定为每小时 25~39km，全程时间为 45~56s，设计时留有约 12s 的裕量。图 10.8 所示为该隧道各信号灯的工作时序图。

1. 控制要求

- (1) 无人值班指挥，能控制自动错开双向行车的时序。
- (2) 系统上电后，自动进入初始状态，A 口红灯（Y1）和 B 口红灯（Y3）同时点亮，5s 后熄灭。

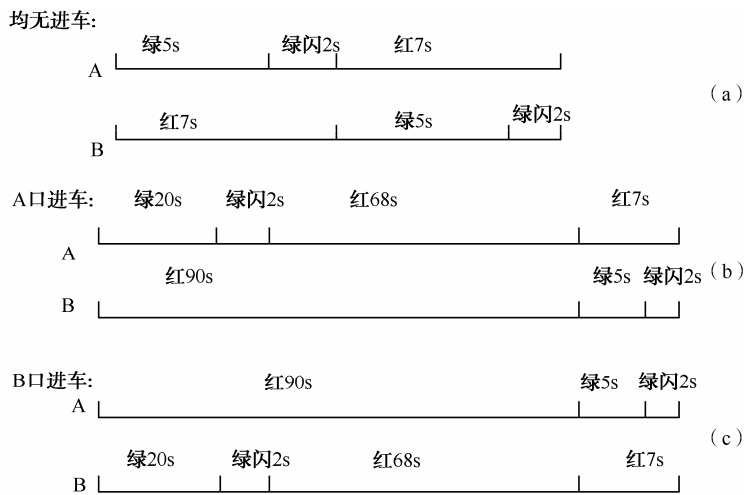


图 10.8 各信号灯的工作时序图

(3) 起动后，当两道口均无进车时，按图 10.8 (a) 所示的时序图执行红绿灯控制；当 A 口有进车时，按图 10.8 (b) 所示的时序图执行红绿灯控制；当 B 口有进车时，按图 10.8 (c) 所示的时序图执行红绿灯控制。

(4) 如此周而复始，一直循环运行下去。

2. 参考内容

图 10.9 所示为隧道汽车双向行驶程序流程图。设计程序时，按图 10.8 (a)、(b)、(c) 所示时序图的内容编写子程序，再采用主控指令及跳转指令实现 3 部分子程序的选择执行。I/O 地址分配如表 10.3 所示。

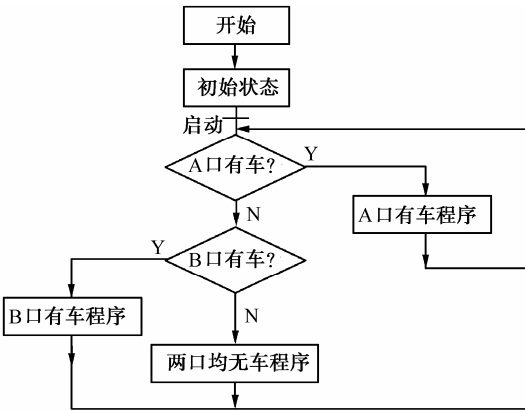


图 10.9 隧道汽车双向行驶程序功能图

3. 实训内容及要求

- (1) 隧道汽车双向行驶的 PLC 控制方案说明。
- (2) 程序梯形图、指令语句表及程序的注释。



- (3) PLC 控制程序的调试。
- (4) 总结调试故障的诊断及处理方法。

表 10.3 I/O 地址分配表

输 入		输 出	
A 口进车	X11	A 口绿灯	Y0
B 口进车	X12	A 口红灯	Y1
起 动	X10	B 口绿灯	Y2
		B 口红灯	Y3

10.4.4 5 层电梯的PLC控制

采用 PLC 控制 5 层楼的乘客电梯，在每一层均安装有位置检测传感器 SQ，用于检测电梯轿厢到达信号。在 1~4 层均设置有上行的呼叫按钮 SB1~SB4，在 2~5 层均设置有下降呼叫按钮 SB5~SB8，如图 10.10 所示。

1. 控制要求

- (1) 当轿厢停在 1 层或 2、3、4 层时，如果 5 层有呼叫，则轿厢上升到 5 层后停止。
- (2) 当轿厢停在 2 层或 3、4、5 层时，如果 1 层有呼叫，则轿厢下降到 1 层后停止。
- (3) 当轿厢停在 1 层时，2、3、4、5 层均有人呼叫，则先到 2 层，停 2s 后继续上升，每层均停 2s，直至 5 层停止。
- (4) 当轿厢停在 5 层时，1、2、3、4 层均有人呼叫时，则先到 4 层，停 2s 后继续下降，每层均停 2s，直至 1 层停止。
- (5) 电梯轿厢到达每层的运行时间限定为 3s，超过 3s 则电梯自动停止运行。
- (6) 电梯在上升的途中，任何下降的呼叫均无效；电梯在下降的途中，任何上升的呼叫均无效。

- (7) 轿厢运行期间不能打开门。
- (8) 轿厢的门没有关闭不能运行。

根据实际实训的情况可增加以下设计内容：

- ① 在轿厢运行途中，如果有多个呼叫，则优先响应与当前运动方向相同的就近楼层，对反方向的呼叫进行记忆，待轿厢返回时就近停止。
- ② 采用数码管对轿厢所在的楼层进行数字显示。
- ③ 采用符号显示器，对轿厢的运动方向进行显示。

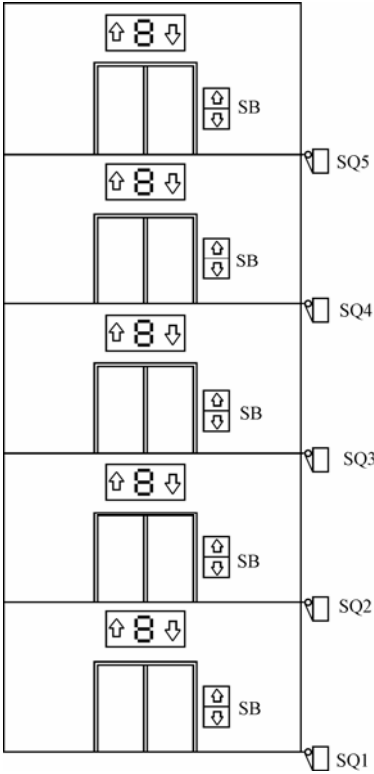


图 10.10 五层电梯的示意图



2. 实训内容及要求

- (1) 电梯轿厢控制方案说明。
- (2) PLC 控制系统的 I/O 接线图设计。
- (3) PLC 控制程序的设计及调试。
- (4) 总结调试故障的诊断及处理方法。

10.5 模拟量数据处理课题

10.5.1 模拟输入信号的软件滤波

1. 项目内容

- (1) 算术平均值滤波法程序设计。在模拟量接口单元中一般配置了求平均值的功能，但有些接口单元的采样时间较短（一般为几个毫秒），因此对于一些采样时间较长的场合，仍需要编程求平均值。图 10.11 所示为 5 次采样的算术平均值滤波程序流程图。

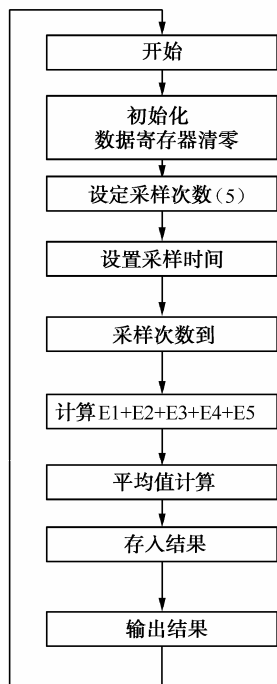


图 10.11 算术平均值滤波法

- (2) 限幅滤波法程序设计。由于被测对象的惯性使实际采样值的变化速率有限，同时采样电路的误差和电磁干扰都会造成采样值的起伏，且起伏频率较高，因此需要通过数字滤波消除。对很多实际过程来说，相邻两次采样值之差 ΔY 是不可能超过某一定值的，因为任何物理量变化都需要一定的时间，因此当 ΔY 大于某一定值时，可以判断该测量值肯定是由于某种原因引起的干扰，应将其去掉，用上一次的采样值来代替本次采样值，即 $Y(i) = Y(i-1)$ 。图 10.12 所示为采用限幅滤波法的程序流程图。

限幅滤波法的原理可用下面的公式表示：

当 $|Y(i) - Y(i-1)| \leq \Delta Y_{\max}$ 时， $Y(i) = Y(i)$

当 $|Y(i) - Y(i-1)| > \Delta Y_{\max}$ 时， $Y(i) = Y(i-1)$

式中， $Y(i)$ 为 i 次采样值； $Y(i-1)$ 为第 $i-1$ 次采样值； ΔY_{\max} 为相邻两次采样可能出现的最大偏差， ΔY_{\max} 的值与采样周期 T 和实际过程有关，可以根据经验或试验来确定。

为了便于编程，将上式表示为以下形式：

当 $Y(i) - \Delta Y_{\max} \leq Y(i-1) \leq Y(i) + \Delta Y_{\max}$ 时， $Y(i) = Y(i)$ ，否则 $Y(i) = Y(i-1)$ 。

2. 实训内容及要求

- (1) 软件滤波的设计方案说明。
- (2) 程序梯形图、指令语句表及程序的注释。

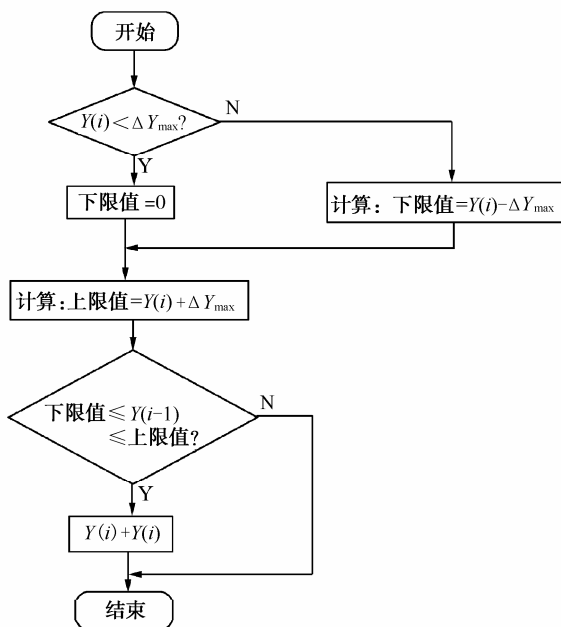


图 10.12 限幅滤波法的程序流程图

(3) PLC 控制程序的调试。

(4) 总结调试故障的诊断及处理方法。

10.5.2 仪表量程转换控制

1. 量程自动转换及求平均值的流程图

图 10.13 所示为量程自动转换及求平均值的流程图，图中 N 为测量次数， N 越大最后的结果就越接近真值，但所需要的转换时间就越长。图 10.13 所示流程图可以实现根据测量的实际情况自动变动 N 值，达到既可以减小随机误差的影响，又可以适当地提高测量速度的目的。若将该程序用于具有某种自动量程转换显示程序中，可实现依据被测电压的大小，自动选择由大到小共 6 挡量程（编号为 $Q=1、2、\dots、6$ ）。工作在 1 挡时被测电压很弱，随机信号的影响相对最大，因而这时测量的次数就应该多些（ N 值取的大一些，如取 $N=10$ ）；工作在第 2 挡时，随机误差影响就相对小一些，这时可以取 $N=6$ ；工作在第 3 挡时取 $N=4$ ；工作在第 4 挡时取 $N=2$ ；工作在第 5、6 挡时只做单次处理，故 $N=1$ 。

自动量程转换及求平均值的工作过程为：系统运行前将量程预置为最高（ $Q=6$ ），然后进行测量并判断测量值是否为欠量程。如果为欠量程，则判断这时的 Q 值是否为 1，若不为 1，则降低一挡量程（即 $Q=Q-1$ ），再重复上述测量、判断过程，直到不是欠量程或 $Q=1$ 时为止；若 $Q=1$ 则取 $N=10$ 并进行平均值计算。如果不是欠量程则判断是否为超量程，如果是超量程，则判断 Q 是否等于 6。若此时 $Q=6$ ，则做过载显示；若 Q 不等于 6，则升高一挡量程（即 $Q=Q+1$ ），再重复上述测量、判断过程，直到不是超量程为止，然后判断此时的 Q 等于多少，根据 Q 值可选取 N 等于 10、6、4、2 或 1，最后再计算平均值。



该流程图实现了最终选择最合适的量程，然后根据量程再选取适当的 N 值求平均值，显然提高了测量精度。

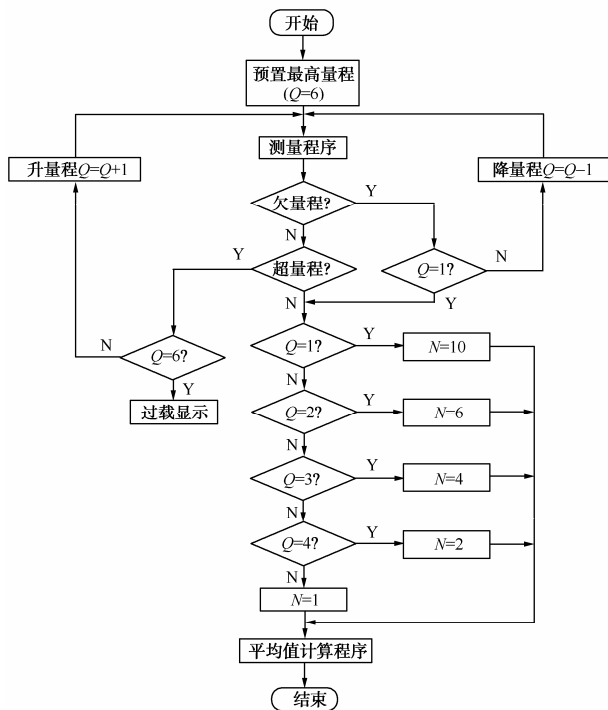


图 10.13 量程自动转换及求平均值的程序流程图

可根据实际实训的情况进行删减或增设内容（如：可减小量程挡，由 6 挡变为 3 挡，或删除去平均值的计算等）。

2. 实训内容及要求

- (1) 量程自动转换及求平均值的设计方案说明。
- (2) 程序梯形图、指令语句表及程序的注释。
- (3) PLC 控制程序的调试。
- (4) 总结调试故障的诊断及处理方法。

10.6 生产过程自动控制实训课题

10.6.1 植物灌溉系统的控制

某苗圃有 A、B、C 3 个种植不同植物的区域。在常规情况下要求采用不同的灌溉方式进行浇灌，同时还可以自动根据天气情况改变灌溉方式。考虑到系统的可靠性和经济性，要求系统有手动控制和自动控制两种功能。根据不同植物生长的特点和要求，要求灌溉系统具有



多种浇灌方式及控制功能。

1. 控制要求

- (1) A 区要求采用喷雾方法灌溉，每喷 2 分钟，停止 5 分钟，工作时间为每天 7 点开始，17 点停止。
- (2) B 区采用旋转式喷头进行喷灌，分为两组同时工作，每喷灌 5 分钟，停止 20 分钟，每天 9 点开始，14 点结束。
- (3) C 区采用旋转式喷头进行喷灌，分为两组采用交替灌溉方式，即每隔 2 天灌溉 1 天。
- (4) 如果遇到阴雨天，则自动全天停止对沙床苗圃和盆栽花卉的灌溉（A 区）。
- (5) 具有温度、湿度的检测功能，即温度、湿度达到某一控制点时，报警并停止运行。
- (6) 具有报警指示和报警灯测试以及蜂鸣器消音功能。
- (7) 系统在自动（手动）工作方式时，能自动（手动）控制供水泵的运行、停止以及各电磁阀的开、关。
- (8) 自动、手动工作开关设置有相应的指示灯。

2. I/O地址分配

I/O 地址分配如表 10.4 所示。

表 10.4 I/O 地址分配

输 入		输 出	
手动工作开关	X0	总水泵	Y0
自动工作开关	X1	手动指示灯	Y1
报警灯测试按钮	X2	自动指示灯	Y2
蜂鸣器消音按钮	X3	A 区电磁阀	Y3
雨量传感器	X4	B 区电磁阀	Y4、Y14
湿度传感器	X5	C 区电磁阀	Y5
温度传感器	X6	温度报警	Y6
		湿度报警	Y7
		报警蜂鸣器	Y10

3. 实训内容及要求

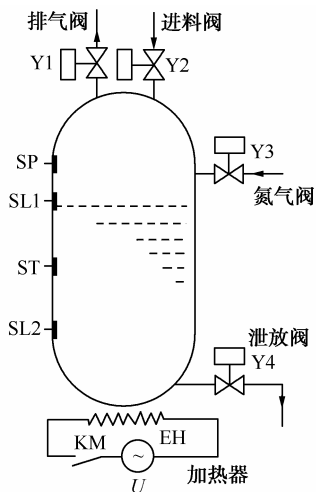
- (1) 植物灌溉系统的控制原理及说明。
- (2) PLC 的 I/O 接线图。
- (3) 程序梯形图、指令语句表及程序的操作功能说明。
- (4) PLC 控制程序的调试。
- (5) 总结调试故障的诊断及处理方法。



10.6.2 化工加热炉温度控制

1. 某化工加热反应釜的组成

图 10.14 所示为某化工加热反应釜的结构示意图。图中 Y1、Y2、Y3、Y4 为电磁阀，SL1 和 SL2 为液位传感器，ST 为温度传感器，SP 为压力传感器，设反应釜内的温度范围为 $0\sim 500^{\circ}\text{C}$ 、压力范围为 $0\sim 10\text{MPa}$ 。



2. 反应釜加热工艺过程

(1) 送料控制。

① 检测到液面 SL2、炉内温度 ST、釜内压力 SP 都小于给定值时，传感器 SL2、ST、SP 均为 OFF 状态；

② 打开排气阀 Y1 和进料阀 Y2；

③ 当液位上升到液面 SL1 时，应关闭排气阀 Y1 和进料阀 Y2；

④ 延时 20s，开启氮气阀 Y3，氮气进入反应釜，釜内压力上升；

⑤ 当压力上升到给定值时，即 $\text{SP}=\text{ON}$ 时，关闭氮气阀 Y3，送料过程结束。

(2) 加热反应过程控制。

① 交流接触器 KM 得电，接通加热器 EH 的电源；

② 当温度升高到给定值时 ($\text{ST}=\text{ON}$)，切断加热电源，交流接触器断电；

③ 延时 10s，加热过程结束。

(3) 泄放控制。

① 打开排气阀，使釜内压力降到预定最低值 ($\text{SP}=\text{OFF}$)；

② 打开泄放阀，当釜内溶液降至液位下限时 ($\text{SL2}=\text{OFF}$)，关闭泄放阀和排气阀，系统恢复到原始状态，准备进入下一循环。

(4) 设置系统的起动按钮和停止按钮。按下起动按钮系统开始工作，按下停止按钮时系统必须在一个循环的工作结束后才能停下来。

(5) 具有液位、温度和压力的报警功能。

3. 实训内容及要求

(1) 温度传感器及压力传感器及模拟量模块的选择使用说明。

(2) PLC 的 I/O 接线图。

(3) 程序梯形图、指令语句表及程序的操作功能说明。

(4) PLC 控制程序的调试。

(5) 总结调试故障的诊断及处理方法。



10.6.3 干燥箱温度控制

图 10.15 所示为干燥箱温度控制程序流程图。设计满足下述要求的 PLC 控制程序。

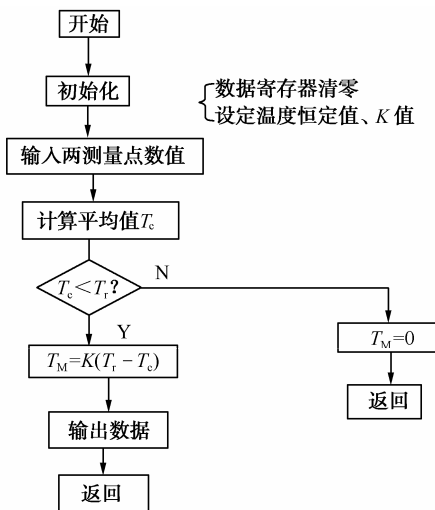


图 10.15 干燥箱温度控制程序流程图

1. 控制要求

- (1) 要求实现干燥箱内温度恒定为 T_r (200°C) 值。
- (2) 箱内设置两个温度检测点，两个检测点的温度平均值 $T_c = (T_{c1} + T_{c2}) / 2$ 为干燥箱的实际温度。
- (3) 采用电阻温度传感器实现干燥箱内的温度检测。
- (4) 采用比例作用控制方式，当 $T_c < T_r$ 时加温，输出加温的控制信号为 $T_M = K(T_r - T_c)$ ；当 $T_c \geq T_r$ 时不加温，输出的控制信号 $T_M = 0$ 。
- (5) 输出端驱动数字显示器件显示被控温度的平均值。
- (6) 具有上限温度报警功能。

2. 实训内容及要求

- (1) 温度传感器的选择及温度控制系统的原理说明。
- (2) 模拟量输入模块的使用说明。
- (3) PLC 的 I/O 接线图。
- (4) 程序梯形图、指令语句表及程序的操作功能说明。
- (5) PLC 控制程序及温度控制系统的调试。
- (6) 总结调试故障的诊断及处理方法。



10.6.4 LM35 温度传感器控温及报警

1. LM35 的控温系统原理

图 10.16 所示为使用 LM35 的控温系统原理图，图中采用 LM35D 温度传感器实现温度的检测，LM35 为电压输出型集成单片温度传感器。图 10.17 所示是用 LM35 组成的简易摄氏温度传感器电路。

LM35 温度传感器广泛应用于打印机、传真机、磁盘驱动器、电池过热器的保护电路，以及便携式医疗设备和电力供电组件中。

图中采用的是 LM35D，其工作电源电压为 $(-0.2 \sim 35.0)\text{V}$ ；输出电压为 $(-1.0 \sim 6.0)\text{V}$ ，输出电流为 10mA ，工作温度范围为 $0 \sim 100^\circ\text{C}$ ，线性温度系数为 $+10.0\text{mV}/^\circ\text{C}$ 。

2. 设计要求

(1) 采用 LM35D 温度传感器实现两位式温度控制，控温范围为 $0 \sim 100^\circ\text{C}$ 。当 LM35D 测得的温度（测量值）低于设定值时，PLC 输出加温信号给固态继电器，固态继电器闭合接通交流 220V 电源给加热对象（负载）加热；当被测温度低于设定值时，固态继电器断开，停止加热（处于保温状态）。

(2) 采用 3（1/2）位 LED 数码管显示数字温度值，温度显示的分辨率为 1°C 。

(3) 可以在 $50^\circ\text{C} \sim 100^\circ\text{C}$ 范围内进行报警，用 LED 发光二极管实现报警显示。

(4) 具有上限温度报警功能，可以手动设定报警值（ $50^\circ\text{C} \sim 100^\circ\text{C}$ 之间）。

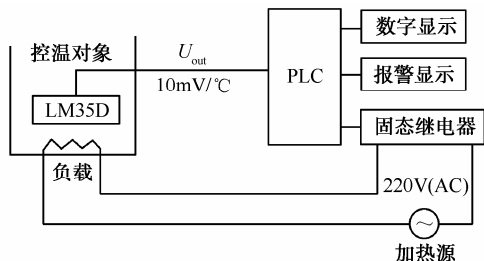


图 10.16 使用 LM35 的控温系统

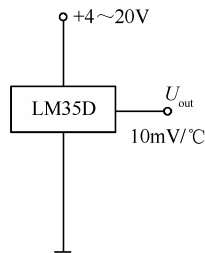


图 10.17 简易摄氏温度传感器电路

可根据实际实训的情况增设以下设计内容：

- ① 输出与 $0 \sim 100^\circ\text{C}$ 对应的标准电流信号 $4 \sim 20\text{mA}$ ，并用数码管同时显示电流值。
- ② 用 LED 数码管显示加温和保温状态（红灯加热、绿灯保温）。

3. 实训内容及要求

- (1) 温度传感器的基本检测原理及温度控制系统的原理说明。
- (2) PLC 控制系统的硬件电路接线图、I/O 接线图。
- (3) 程序设计及调试。
- (4) PLC 温度控制系统的调试。



- (5) 温度控制系统硬件元器件的选择依据、系统的调试步骤说明。
- (6) 总结调试故障的诊断及处理方法。

10.6.5 炉窑温度模糊控制

图 10.18 所示为炉窑温度控制系统示意图，图中有两个炉窑，分别设置有起动、停止和急停的按钮开关，同时还设有总起动和总停止按钮开关。要求设计满足下述控制要求的程序。

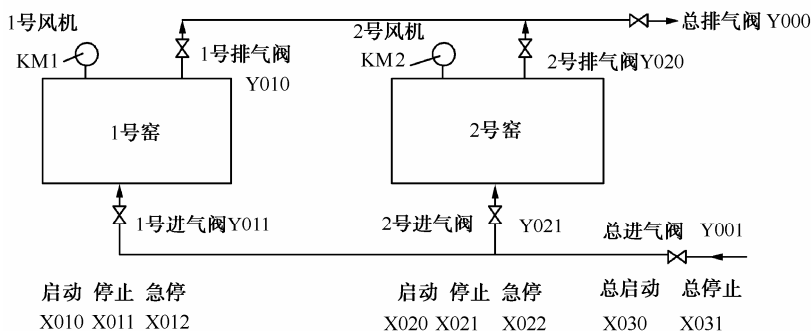


图 10.18 炉窑温度控制系统原理示意图

1. 系统总的顺序控制要求

(1) 按下总起动按钮后，允许两个炉窑按照各自的控制要求运行，如果按下总停止按钮，则禁止系统运行。

(2) 每个炉窑具体的控制要求如下：

- ① 起动风机电机，使炉窑内的热气流循环；
- ② 打开进气阀，使热气流（蒸汽）进入炉窑；
- ③ 经过一定时间的恒温控制（如 10h），关闭进气阀。打开排气阀，排出热气流；
- ④ 按下停止按钮，则关闭风机，延时 10s 后关闭排气阀，每个炉窑的进气阀只有在总进气阀打开 5s 后才能打开，只要有一个炉窑的进气阀需要排气，就要打开总排气阀。

2. 炉窑内的温度控制要求

每个炉窑通过一只热敏电阻进行温度检测，采用模糊控制算法进行温度控制。

总进气阀、总排气阀以及每个炉窑的进气阀、排气阀都采用电磁阀，通过控制电磁阀的接通时间，实现恒温控制。具体要求如下：

- (1) 当实际检测温度低于设定值的 50% 时，进气阀打开的占空比为 100%。
- (2) 当实际检测温度高于设定值的 50%，且低于设定值的 80% 时，进气阀打开的占空比为 70%。
- (3) 当实际检测温度高于设定值的 90%，且低于设定值的 100% 时，进气阀打开的占空比为 30%。
- (4) 当实际检测温度高于设定值的 120% 时，进气阀打开的占空比为 0%。



3. 设计方案提示

在采用模糊控制算法时，总进气阀、总排气阀及每个炉窑的进气阀和排气阀都采用电磁阀，通过控制电磁阀的接通时间，实现恒温控制。

若采用 PID 规律时，每个炉窑的电磁阀（开关量的控制）改为调节阀（模拟量的控制），通过调节电动阀门的开度，完成恒温控制。编程时采用脉宽调制指令 PWM 控制调节阀动作，实现控制作用。

设计内容可根据实际需要分为两个题目进行：顺序控制部分和模拟量的温度控制部分。也可以再增加温度 PID 控制内容。

4. 实训内容及要求

- (1) 炉窑温度控制框图及控制原理说明。
- (2) PLC 的 I/O 接线图。
- (3) 程序梯形图、指令语句表及程序的操作功能说明。
- (4) PLC 控制程序的调试。
- (5) 总结调试故障的诊断及处理方法。

10.6.6 育苗房温度和湿度的控制

某育苗房内的温湿度控制，要求在育苗房内设置温度传感器和湿度传感器，对温湿度进行检测，采用 PLC 模拟量输入模块将温度和湿度传感器输出的模拟量输入到 PLC。

1. 控制要求

- (1) 在育苗房内安装 1 只温度传感器和 1 只湿度传感器。
- (2) 温度传感器对应（0~100）℃的检测范围，输出（4~20）mA 的标准电流。
- (3) 采用 H104R 型湿度传感器的测量电路。对应（35%~85%）RH 湿度测量范围，该电路输出 3.5~8.5V 的标准电压信号，湿度测量精度为±4.0%。
- (4) 当室内的湿度低于 40%RH 时，控制黄色指示灯点亮，并输出控制信号起动加湿器工作；当室内的湿度高于 75%RH 时，控制红色指示灯点亮，发出控制信号起动抽风机工作；当室内的湿度在 40%~75%RH 之间时，控制绿色指示灯点亮。
- (5) 采用温度传感器监视室内温度的变化，当室内的温度值高于 30℃时，同样也起动抽风机工作。

2. 实训内容及要求

- (1) 温度和湿度传感器及模拟量模块的选择使用说明。
- (2) PLC 温（湿）度控制系统框图及控制原理说明。
- (3) PLC 控制系统的硬件电路接线图、I/O 接线图。
- (4) 程序梯形图、指令语句表及程序的操作功能说明。
- (5) PLC 控制程序及温度、湿度控制系统的调试。



(6) 总结调试故障的诊断及处理方法。

10.7 机械加工控制实训课题

10.7.1 反接制动继电器控制改建PLC控制

1. 控制要求

图 10.19 所示电动机正、反转的反接制动继电器控制电路，电动机无论正转运行还是反转运行都能实现反接制动。要求采用 PLC 实现继电器硬件电路的控制功能。

设电动机型号为 Y132M-4-B3，其额定功率为 7.5kW，额定电压为 380V，额定转速为 145r/min。

2. 实训内容及要求

- (1) 电动机的继电器控制线路原理说明。
- (2) PLC 的 I/O 接线图、控制面板图的设计。
- (3) PLC 外部电路元器件的选择及参数计算。
- (4) 控制程序的设计及调试。
- (5) 控制系统整机连调的步骤及说明。
- (6) 总结调试故障的诊断及处理方法。

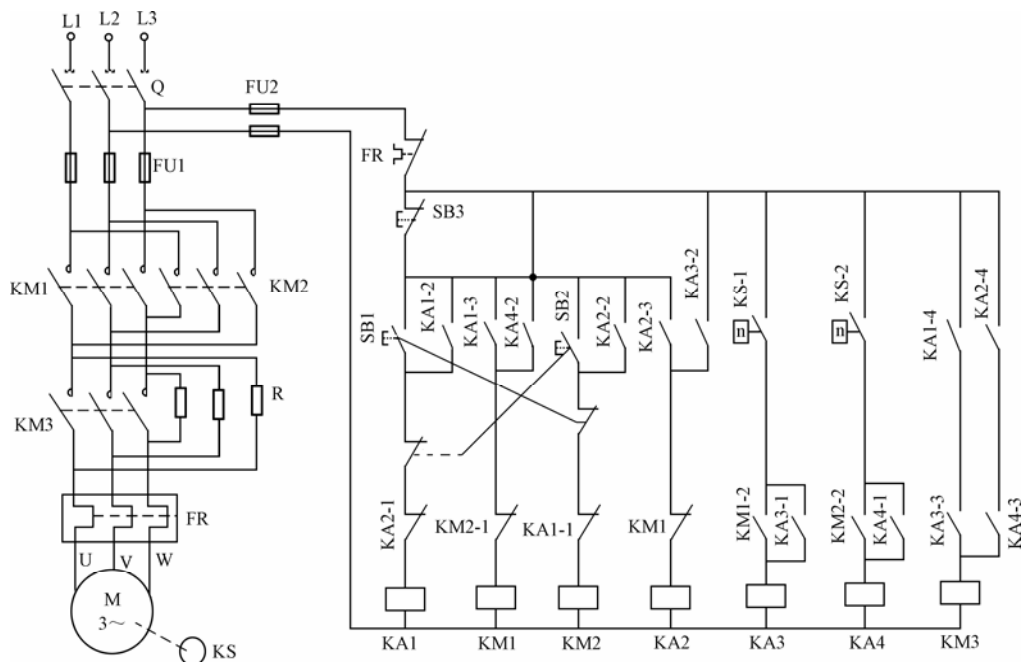


图 10.19 电动机正反转的反接制动继电器控制电路



10.7.2 普通机床的PLC控制

1. 控制要求

采用 PLC 对普通机床的部分功能进行控制。该机床共有 3 台三相笼型异步电动机：主轴电动机 M1、润滑油电动机 M2、冷却泵电动机 M3。具体的控制要求：

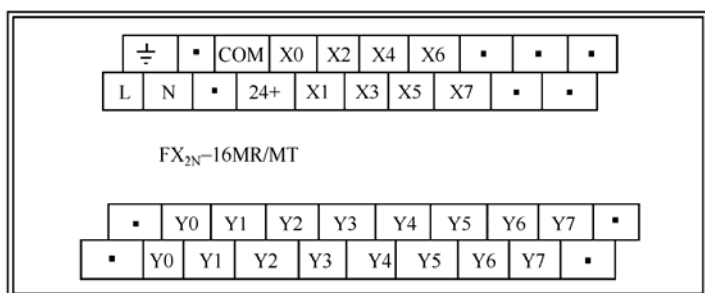
- （1）M1 直接起动，单向转动，不需要调速，采用能耗制动方式且可以点动试车。
- （2）M1 必须在 M2 工作 3min 后，才能起动。
- （3）M2、M3 共用一个交流接触器，如不需要 M3 工作时，可以用转换开关切断。
- （4）电动机具有必要的保护措施。
- （5）装有工作照明灯一个，电压为 36V。电网电压及控制电路电压均为 380VAC。

2. 实训内容及要求

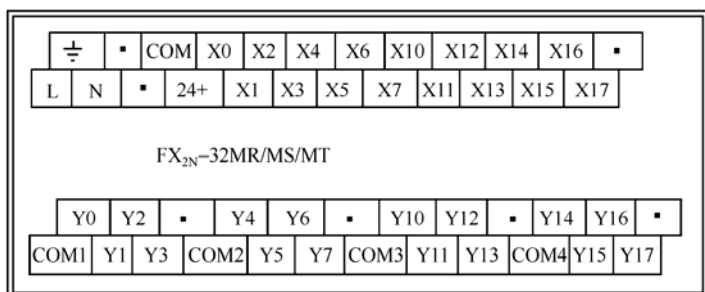
- （1）PLC 的 I/O 接线图、机床控制面板图的设计。
- （2）主电路原理图的设计。
- （3）PLC 外部电路元器件的参数计算及选择。
- （4）机床控制程序的设计和调试。
- （5）控制系统整机连调的步骤及说明。
- （6）总结调试故障的诊断及处理方法。

FX_{2N}系列PLC的输入/输出端子排列图

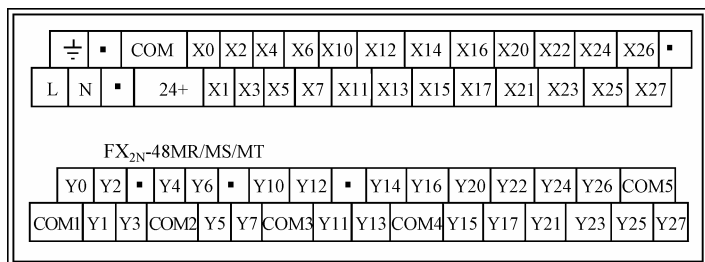
1. FX_{2N}-16MR/MT型PLC



2. FX_{2N}-32MR/MS/MT型PLC




3. FX_{2N}-48MR/MS/MT型PLC





4. FX_{2N}-64MR/MS/MT

	▪	COM	COM	X0	X2	X4	X6	X10	X12	X14	X16	X20	X22	X24	X26	X30	X32	X34	X36	▪
L	N	▪	24+	24+	X1	X3	X5	X7	X11	X13	X15	X17	X21	X23	X25	X27	X31	X33	X35	X37
FX _{2N} -64MR/MS/MT																				
Y0	Y2	▪	Y4	Y6	▪	Y10	Y12	▪	Y14	Y16	▪	Y20	Y22	Y24	Y26	Y30	Y32	Y34	Y36	COM5
COM1	Y1	Y3	COM2	Y5	Y7	COM3	Y11	Y13	COM4	Y15	Y17	COM5	Y21	Y23	Y25	Y27	Y31	Y33	Y35	Y37

FX系列PLC特殊辅助继电器的功能说明表

FX 系列 PLC 部分特殊继电器的功能说明

特殊辅助继电器	功 能	特殊数据继电器	功 能
M8000/M8001	RUN 监控（动合/动断触点）	D8000	警戒时钟
M8002/M8003	初始脉冲（动合/动断触点）	D8001	PC 型号及系统版本
M8004	出错	D8002	存储器容量
M8005	电池电压低	D8003	存储器类型
M8006	电池电压低锁存	D8004	出错 M 的编号
M8007	电源瞬停检出	D8005	电池电压
M8008	停电检出	D8006	电池电压低时的数值
M8009	DC24V 关断	D8008	停电检出时间
M8011/M8012	10ms/100ms 时钟	D8009	DC24V 关断的单元号
M8013/ M8014	1ms/1min 时钟	D8010	当前扫描时间
M8020	零标志	D8011	最小扫描时间
M8021/ M8022	借位/进位标志	D8012	最大扫描时间
M8023	浮点操作	D8028	Z 数据寄存器
M8024	BMOV 方向, ON 计数器方向	D8029	V 数据寄存器
M8030	电池 LED OFF	D8039	固定扫描宽度
M8034	禁止所有输出	D8040	最小的活动 STL 状态器号
M8036/ M8037	强制运行/停止信号	D8041	第 2 个活动 STL 状态器号
M8040	禁止状态转移	D8046	第 7 个活动 STL 状态器号
M8041	状态转移开始	D8049	最小的活动报警器号
M8042	起动脉冲	D8060	I/O 编号出错的第一个 I/O 元件号
M8043	回原点完成	D8061	PLC 硬件出错码编号
M8044	原点条件	D8062	PLC/PP 通信出错的错误码编号
M8045	禁止输出复位	D8063	并机通信错误码编号
M8046	STL 状态置 ON	D8064	参数出错的错误码编号
M8047	STL 状态监控有效	D8065	语法出错的错误码编号
M8060	I/O 编号错	D8066	电路出错的错误码编号
M8061	PLC 硬件错	D8067	操作出错的错误码编号
M8064	参数出错	D8068	操作出错的步序号编号
M8065	语法出错	D8069	错误的步序号
M8066	电路出错	D8070	并行连接看门狗定时
M8067	操作出错	D8102	内存容量
M8069	I/O 总线检查	D8109	输出刷新错误

参 考 文 献

- [1] 高勤. 电器及 PLC 控制技术. 第 2 版. 北京: 高等教育出版社, 2008.
- [2] FX_{2N} PLC 操作手册. 三菱公司.
- [3] 廖常初. FX 系列 PLC 编程及应用. 北京: 机械工业出版社, 2006.
- [4] 孙振华. 可编程控制器原理及应用. 北京: 清华大学出版社, 2005.
- [5] 胡学林. 可编程控制器教程 (实训篇). 北京: 电子工业出版社, 2004.
- [6] 俞国亮. PLC 原理与应用. 北京: 清华大学出版社, 2005.
- [7] 陈立定. 电气控制与可编程序控制器的原理及应用. 北京: 机械工业出版社, 2005.
- [8] 施金良. 可编程序控制器. 重庆: 重庆大学出版社, 2005.
- [9] 江秀汉等. 可编程控制器原理及应用. 西安: 电子科技大学出版社, 2003.
- [10] 郁汉琦, 郭建. 可编程控制器原理及应用. 北京: 中国电力出版社, 2004.
- [11] 曹辉, 霍罡. 可编程控制器过程控制技术. 北京: 机械工业出版社, 2006.
- [12] 黄净. 电器控制与可编程控制器. 北京: 机械工业出版社, 2005.
- [13] 汤自春. PLC 原理及应用技术. 北京: 高等教育出版社, 2006.

《可编程控制器原理及应用（三菱机型）（第2版）》读者意见反馈表

尊敬的读者：

感谢您购买本书。为了能为您提供更优秀的教材，请您抽出宝贵的时间，将您的意见以下表的方式（可从 <http://edu.phei.com.cn> 下载本调查表）及时告知我们，以改进我们的服务。对采用您的意见进行修订的教材，我们将在该书的前言中进行说明并赠送您样书。

姓名：_____ 电话：_____

职业：_____ E-mail: _____

邮编：_____ 通信地址：_____

- 您对本书的总体看法是：
☐很满意 ☐比较满意 ☐尚可 ☐不太满意 ☐不满意
- 您对本书的结构（章节）：
☐满意 ☐不满意 改进意见_____
- 您对本书的例题 ☐满意 ☐不满意 改进意见_____
- 您对本书的习题 ☐满意 ☐不满意 改进意见_____
- 您对本书的实训 ☐满意 ☐不满意 改进意见_____
- 您对本书其他的改进意见：

- 您感兴趣或希望增加的教材选题是：

请寄：100036 北京万寿路 173 信箱高等职业教育事业部收
电话：010-88254571 E-mail: gaozhi@phei.com.cn